PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA)
CATEGORÍA III

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMA MARINO COSTERO

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13107 13217 13234	Octubre 2020	ENVIROMENTAL ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL	31/05/2021

PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente EES INTERNATIONAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros en el mes de octubre de 2020 frente al puerto de Punta Rincón propiedad de Minera Panamá.

Ciudad de Panamá, 20 de enero de 2021

Responsable del Informe Técnico

Dr Fernando J. Mariño Fernández

Rev. Nº	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	20-01-2021

Nº PEDIDO: MINERA PANAMA 1824-603208

AMBITO DE LA INSPECCION: REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO: AGUAS MARINAS LITORALES.

CONDICIONES GENERALES: EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME DE INSPECCION SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001. LOS ANALISIS EN EL LABORATORIO LOS HAN REALIZADO LABORATORIOS EXTERNOS ACREDITADOS POR LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025:2017.

LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE EES INTERNATIONAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene EES INTERNATIONAL, SA
2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa del responsable Técnico de EES INTERNATIONAL, SA o del cliente.

LOS RESULTADOS DE LA PRESENTE INSPECCION SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO. TODAS LAS FOTOGRAFÍAS, CUADROS, FIGURAS, ETC DEL PRESENTE INFORME SON ORIGINALES Y SE CORRESPONDEN CON LAS FECHAS DE LOS MONITOREOS Y ESTÁN A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE Y SUS AUTORIZADOS.

DESIGNACION DEL DOCUMENTO: ESTUDIO ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS INFORME MONITOREO OCTUBRE 2020 280121

IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO: 280121

NOTA SOBRE UNIDADES DE MEDIDA: EN DICIEMBRE DE 2007 SE APRUEBA EN PANAMÁ LA LEY 52 QUE ESTABLECE COMO SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES EL SISTEMA INTERNACIONAL (SIU). POR CONSIGUIENTE, TODAS LAS UNIDADES DE ESTE INFORME VIENEN REFERIDAS AL SIU.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA 3
3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS 4
3.1. Sitios de muestreo y actividades realizadas 4
3.2. Metodología para el estudio de la calidad del agua marina 7
3.3. Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota 9
3.4. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros) 11
3.5. Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces) 12
3.6. Monitoreo de rompeolas 14
4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS 16
4.1. Calidad de aguas 16
4.2. Calidad de sedimentos 25
4.3. Análisis de metales pesados en peces 35
4.4. Hábitats de fondos duros 36
4.5. Hábitats de fondos blandos 53
4.6. Estudio de la comunidad de peces 62
5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS 71
5.1. Calidad de aguas 71
5.2. Estudio de fondos duros 74
5.3. Estudio de la comunidad de peces 76
6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE 79
7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES 81
8. ESTADO ECOLÓGICO 85
8.1. Justificación 85
8.2. Metodología 85
8.3. Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero 90
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES 92
10. BIBLIOGRAFÍA 100

ANEXO 1. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros iniciado en el año 2015, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas marinos en el entorno de las operaciones de la mina y el puerto.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan, centrando los trabajos en este monitoreo semestral del mes de octubre del año 2020 durante los días 13 al 18 de octubre de 2020 en la zona de Punta Rincón en el Proyecto Mina de Cobre Panamá en los indicadores biológicos (bentos de fondos duros y blandos y peces) y estudios de calidad de agua, sedimentos y biota, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2015 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina y el puerto.

Desde el punto de vista metodológico, se han seguido los mismos métodos y técnicas de monitoreo a los empleados en los monitoreos de años anteriores (2015, 2016, 2017, 2018 y 2019). El diseño de los sitios de monitoreo consideró sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo lejano (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

El conjunto de muestreos lo realizó un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y normas de calidad UNE/EN/ISO 17025. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. En todos los muestreos, se contó con un paramédico y buceador de apoyo, siguiendo los mayores estándares de seguridad y salud en el trabajo.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos y peces.

- Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.
- Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.
- Diferentes Directivas Comunitarias de la Unión Europea sobre contenido de metales pesados en peces.

Durante este monitoreo, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, presentando cielos poco nublados (10-50% nubes), ausencia de lluvias y una temperatura ambiente en el rango de 28-30ºC, con mar en calma.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (sobre 6,3-6,8 mg/l y 100% de saturación), salinidades propias de agua de mar (36-37 PSU) y un pH de 8,0-8,8 unidades. La turbidez del agua en esta campaña se ha mantenido baja e inferior a 2 NTU.

Se destaca que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3ºC de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

Todos los metales pesados en agua incluidos en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008 (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad.

La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios. En los fondos blandos, predominan las arenas medias a gruesas, sin diferencias significativas entre las muestras, y características del litoral caribeño.

No se aprecia en el sedimento efectos asociados con la operación del puerto o de las actividades de la Mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los más profundos.

En las muestras de sedimentos, no se han encontrado diferencias significativas en el contenido en metales pesados y otros compuestos entre los sitios de muestreo analizados, cumpliendo todas las muestras con el límite de efectos bajos (LEB), por lo que no se han detectado efectos de contaminación en el entorno del puerto y la Mina.

Las concentraciones de metales pesados en tejidos de pez león -especie objetivo empleada- han sido bajas en todos los sitios de muestreo y se cumple con el límite para plomo (0,30 mg/kg), cadmio (0.25 mg/kg) y mercurio (0.5-1.0 mg/kg).

Los porcentajes de cobertura de los transectos en los sitios de monitoreo de los puntos profundos y someros, son semejantes a los registrados en el monitoreo realizado en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base, ya que se han mantenido en el mismo rango las coberturas de las principales formaciones biológicas y sin variaciones con respecto a años anteriores.

En este informe se ha realizado un análisis tipo cluster para comprobar si existían similitud entre los sitios muestreados en función de su composición en especies de fondos duros. El resultado indica un grupo claramente diferenciado, formado por las comunidades en los dos sitios profundos (R3 y R33), con una composición similar y en el que predominan el grupo de las esponjas, seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. Entre los corales predominan *Agaricia agaricites, Agaricia undata, Diplora clivosa y Porites asteroides.*

El segundo grupo lo forman los sitios de fondos duros someros (R12, R15 y R18), que presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales destacan las especies pioneras como *Siderastrea sidérea, Agaricea undata, Agaricia agaricites y Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. Entre las esponjas se pueden destacar *Aplysina cauliformis, Aplysina fulva, Callyspongia vaginalis, Clathrina primordialis, Ircina campan* y *Xestospongia muta*, no estando limitados por el oleaje ni la sedimentación

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de muestreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaericana, Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida*.

En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron ligeramente inferior a otros grupos biológicos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transectos algas como *Halimeda tuna, Amphiroa fragilissima, Chondrophycus papillosus, Dictiota mestrualis, Padina pavonica y Galaxaura obtusata*. Se trata de algas muy comunes en la costa del Caribe y su presencia indica comunidades no afectadas y propias de ecosistemas no alterados.

El grupo de las “otras formas de vida y especies desconocidas” conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidias, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus, Echinometra lucunter, y el Crinoideo Nemaster grandis.* Las poblaciones de langosta se han mentenido estables en los diferentes monitoreos, obedeciendo los cambios observados a su propia dinámica o la presión pesquera local.

El tercer grupo está formado por los los sitios T1 y T2, que presentan un sustrato dominado mayoritariamente (>99%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés. Forman claramente un grupo diferente al resto de sitios de monitoreo, aunque con una cierta similitud con los sitios someros por la composición, también alta en éstos (>75%) de arenas y piedras en el sustrato.

En el bentos marino de sustratos blandos se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 15447 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 27 Órdenes y 36 Familias. Con 46 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 29 especies, en menor proporción los Poliquetos con 7 y Crustáceos con 3 taxones. La distribución espacial del número de especies de los principales taxa permitió evidenciar la dominancia de los moluscos en todas las localidades.

Del análisis de la abundancia acumulativa por localidades monitoreadas se puede señalar que hay tres grupos de acuerdo al número de individuos cuantificados: con un mayor número se registraron las localidades R-15 con 5581 ind/m^2, R-12 con 2145 ind/m^2 y R-33 con 1989 ind/m^2. Las de menor abundancia fueron E-4 con 286 ind/m^2 y Caimito Este con 299 ind/m^2.

También para las comunidades de fondos blandos se ha realizado un análisis estadístico tipo cluster, destacando de dicho análisis que no se han registrado comunidades diferentes en

función de la composición del bentos blando. Con excepción del sitio de monitoreo R-15, el resto de sitios presentan una elevada similitud en cuanto a la composición de especies, independiente de la profundidad, tipo de sustrato (muy similar entre ellas) o la composición físico-química del agua y otros elementos oceanográficos (corrientes, marea, etc). El sitio de monitoreo R-15 presenta una mayor densidad de especies (5581 ind/m^2) con respecto al resto de estaciones, con la dominancia de *Ceratium* sp y *Rissoina* sp y en menor medida *Atys* sp.

La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las operaciones de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales profundidad y localización geográfica no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras. Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

En la ictiofauna de los fondos duros profundos se censó un total de 34680 individuos/10^3 m^2 entre R3 y R33, pertenecientes a 21 especies de peces, incluidas en 19 géneros y 16 familias. Todos los peces observados fueros óseos (Osteichthyes). La especie más abundante fue con diferencia el tamboril (*Canthigaster rostrate)*, que representa el 99% de la población. En mucha menor medida, el resto de especies con porcentajes muy bajos, destacando *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomaei y Anisotremus virginicus*.

En los fondos someros, la especie más abundantes observada fue *Canthigaster rostrate* con un 99% de dominancia para R12, R15 y R18 y un 60-61% para T1 y T2 relacionado con su bloom poblacional. También se han registrado *Carangoides bartholomaei* y *Acanthurus bahianus* (<1%). La mayor abundancia de tamboril en los sitios R12, R15 y R18 está asociada con la disponibilidad de alimento y refugio, ya que cuentan con hábitats adecuados, en los que aparecen una elevada diversidad de cornisas y pequeñas cuevas en las grandes rocas, fisuras en las plataformas rocosas, fondos de arena y algas, etc., por lo que además de dar cobijo a esta especie, puede albergar una comunidad rica y diversa de especies características de estos fondos en el Caribe. Por su parte, los sitios T1 y T2 no cuentan con refugios y buena disponibilidad de alimento, y tienen una mayor velocidad de la corriente de agua, lo que hace poco atractivo estos hábitats para el desarrollo íctico.

Las altísimas densidades del pez tamboril observadas en la presente campaña, coinciden con un fuerte bloom de esta especie, fenómeno que se da habitualmente y de forma estacional en estas costas. Seguido a estos blooms, esta especie sufre episodios de mortandad masivos, que también son frecuentes en la costa del Caribe panameño y otras costas próximas. No hay información suficiente sobre estos episodios, ni por qué se produce ésta sobre-población o bloom poblacional, ni por qué se producen las mortandades como estrategia de reclutamiento. Se han apuntado varias causas (calentamiento del agua, falta de alimento, parásitos, etc), pero ninguna es concluyente (Piedra-Castro, L y Araya-Vargas, A, 2018)[1].

[1] Lilliana Piedra-Castro1* and Alexander Araya-Vargas. Mortalidad masiva de *Canthigaster rostrata* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en la costa del Caribe Sur de Costa Rica Rev. Mar. Cost. ESSN 1659-407X. Vol. 10 (1): 31-37, Enero-Junio 2018

Cabe señalar, que la comunidad de peces registrada en los fondos someros está asociada con la disponibilidad de alimento y refugio. Cuenta con hábitats adecuados, en los que aparecen una buena diversidad de refugios (cornisas y pequeñas cuevas en las grandes rocas, fisuras en las plataformas rocosas, fondos de arena y algas, etc), por lo que alberga una comunidad rica y diversa de especies características de esta área del caribe.

La abundancia relativa del pez león en el presente monitoreo fue de 4,5-5,6% para el fondo somero y de 3,1-3,2% para el fondo profundo. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).

Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá. Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010). Debido a su impacto, se recomienda desarrollar un plan para el control de las poblaciones de esta especie en las áreas cercanas al proyecto de Minera Panamá.

Durante este monitoreo se han continuado con los trabajos en el rompeolas del puerto en siete sitios de monitoreo, con el objetivo de caracterizar en detalle las comunidades biológicas de fondos duros y peces. El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompeolas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales.

Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte más externa que parece se va afianzando con el tiempo –como así se observó en monitoreos anteriores-, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas. En la parte interna, menos expuesta y dentro de la zona de abrigo del rompeolas, esta colonización todavía es incipiente, aunque se aprecian signos de implantación de colonias de corales.

Tal y como sucede en toda el área marina de Punta Rincón, la especie íctica más abundante observada en la parte externa e interna del rompeolas fue *Canthigaster rostrate* (99%) debido a la coincidencia de los monitoreos con el bloom de esta especie ya comentado con anterioridad. Otras especies presentes han sido *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomei, Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758), Stegastes variabilis (Castelnau, 1855), Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788) y Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758),* todas con porcentajes muy bajos debido a la fuerte dominancia del tamboril.

Sin considerar al tamboril, se puede indicar que la comunidad de peces en el rompeolas presenta un número significativo de peces y densidades, comparables a las registradas en el estudio de las áreas profundas y someras. Se aprecia una clara diferencia entre los valores de

abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa de la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transectos expuestos a mar abierto. No obstante, la comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de alto valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces en el intake fue relativamente bajo (10-25 ind/m^3 para huevos y 21-32 ind/m^3 para larvas), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m^3 para huevos y de 30-50 ind/m^3 para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 20-24%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Se trata de especies de muy alta distribución en la zona y con bajo valor comercial para la pesca local.

En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)[2] en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m^3 y 9,08 larvas/m^3 succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta. En este trabajo se concluyó que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto, resultan ser insignificantes, siendo aún menores en el caso de la toma en Punta Rincón debido a que el caudal de toma y la concentración de larvas y huevos también son menores.

Se ha procedido al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA para valorar cómo cambian los resultados de los diferentes elementos ambientales considerados (bentos marino y peces). De esta forma, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2015.

La tendencia de los indicadores biológicos de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y del presente 2020 comparados con los de la línea base del año 2015 indican variaciones poco significativas. En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto a la línea base, manteniéndose el buen estado de las comunidades biológicas y

2 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.

en condiciones de estado natural y no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

Para complementar el análisis de tendencias de los indicadores ambientales establecidos en el EEA, se ha evaluado el estado ecológico del medio marino en el entorno del Puerto. Para ello, se han empleado los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

Las comunidades de los bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS a BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI que son propios de sistemas ligeramente alterados por causas naturales y/o cambios estructurales asociados con la época del muestreo y estado de las poblaciones. Las comunidades delbentos de fondos blandos se encuentran en buen estado ecológico y natural y carecen de efectos debido a la la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

Por su parte, los parámetros físico-químicos analizados en el agua, sedimento y biota cumplen con los límites legales en Panamá o los establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

En resumen, todos los sitios de monitoreo analizados se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO de categoría BUENO a MUY BUENO, no apreciándose efectos ambientales de tipo negativo debido a la operación de la mina y el puerto.

Ciudad de Panamá
20 de enero de 2021

1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, situado en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excavará y procesará mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13,000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, la construcción de instalaciones portuarias en Punta Rincón, que permitirán la carga de concentrado y la descarga del carbón, asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica.

Plano 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos y físico-químicos del medio ambiente acuático marino-costero y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe se describen la metodología y resultados obtenidos en el segundo monitoreo de los ecosistemas marino-costeros frente al puerto de la mina en Punta Rincón completado los días 13 al 18 de octubre de 2020, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros.

Cabe señalar, que el monitoreo previsto para el mes de abril de 2020 se ha tenido que posponer, debido a las restriccioines sanitarias y de confinamiento impuestas por la pandemia del COVID-19.

Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de bentos en fondos duros y blandos y estudio de peces) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces).

- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico a lo largo del período de actividad de la mina.

- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los estudios completados en los últimos monitoreos.

Diferentes momentos de los trabajos realizados para los monitoreos marino-costeros en Punta Rincón durante el mes de octubre de 2020.

2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costero, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido asegurar que los controles ambientas para el ecosistema marino-costero (calidad de agua, sedimentos, fondo duro y biología marina), mantengan medidas de mitigación que sean efectivas para la protección y viabilidad de estos ecosistemas en la zona de influencia directa del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de la calidad de los sedimentos.
- Asegurar que los procedimientos de manejo son efectivos para limitar los cambios en los sedimentos producto de la sedimentación y otros impactos (por ejemplo, derrames de carbón y concentrado).
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de los impactos sobre el componente biológico durante la construcción y operación del puerto.
- Monitorear las condiciones estuarinas para evaluar los impactos de la construcción de la mina (por ejemplo, calidad sedimentos y características físicas).
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante las operaciones, específicamente alrededor de la desembocadura de las aguas de refrigeración de la planta de energía y alrededor de las instalaciones portuarias, a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitoreo y acciones correctivas para evitar mortalidad de la fauna.
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de hábitat crítico, especialmente el substrato del hábitat de fondo duro, dentro y alrededor de la huella del proyecto.
- Evaluar si los mecanismos de control establecidos (por ejemplo, el control de sedimentos y operaciones portuarias) son efectivos para la protección del hábitat de fondo duro cercano a las operaciones.
- Apoyar la actualización de los inventarios biológicos dentro del área del proyecto especificados por los compromisos del EsIA (deben actualizarse cada 5 años).

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitore Ambiental, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades en el puerto de la mina.

De forma adicional, durante este monitoreo se ha planteado como objetivo colateral –iniciado en el año 2015- la valoración del estado ecológico del medio marino-costero, teniendo en cuenta diferentes indicadores de la calidad biológica y físico-química de aguas y sedimentos.

3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Sitios de muestreo y actividades realizadas

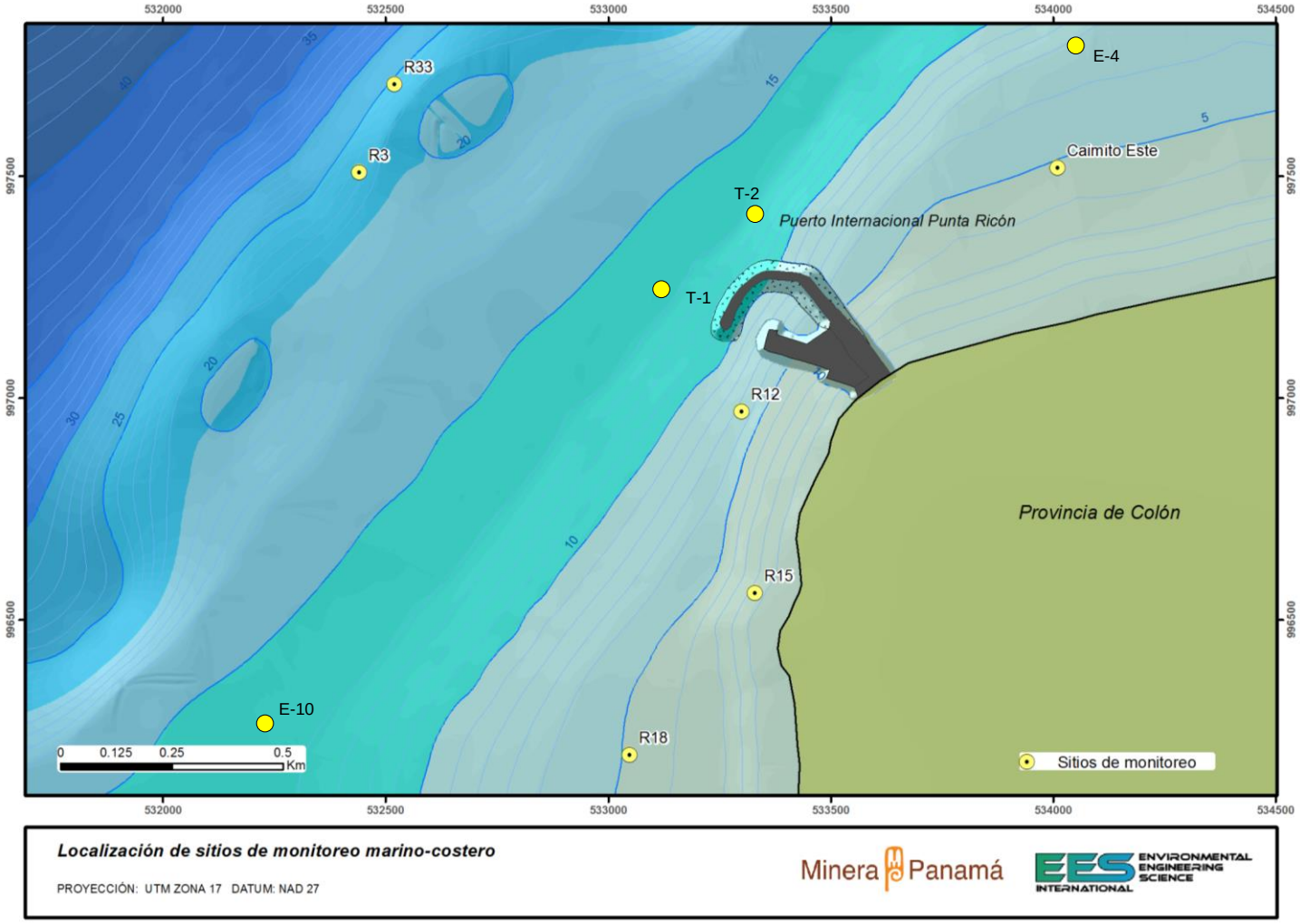
Durante los días 13 al 18 de octubre de 2020 se realizaron los monitoreos en los siguientes diez (10) sitios de monitoreo (ver **Cuadro 1**).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO

CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	TIPO DE PUNTO	TIPO DE FONDO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
R3	PML	Fondo duro-blando profundo	532441	997509
R33	PML	Fondo duro-blando profundo	532520	997707
Caimito Este	PMC	Fondo blando somero	534011	997519
R12	PMC	Fondo duro-blando somero	533301	996970
R15	REF	Fondo duro-blando somero	533331	996560
R18	REF	Fondo duro-blando somero	533049	996196
T1	Control para terminal T2	Fondo blando	533227	997336
T2	Control para terminal T2	Fondo blando	533383	997571
E4	Nuevo control	Fondo blando	534871	997981
E10	Nuevo control	Fondo blando	532295	995729

PML: Punto de Monitoreo Lejano; PMC: Punto de Monitoreo Cercano; REF: Punto de Referencia. El término “Punto de Monitoreo Cercano o PMC” se refiere a las ubicaciones de muestreo que están lo más cerca posible a las operaciones, pero fuera de cualquier zona inicial mixta; la zona inicial mixta es el área donde las descargas provenientes del sitio (por ejemplo, las descargas de agua de refrigeración de la planta de energía) se mezclan por completo con el ambiente marino receptor. Los “Puntos de Monitoreo Lejano o PML” se deben ubicar en lugares que se crean que definen el espacio de cualquier efecto potencial observado en el PMC. Los “Puntos de Monitoreo de Referencia o REF”, deben estar cerca del área, pero fuera de cualquier cambio potencial debido a las operaciones del Proyecto.

En el **Plano 2** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo utilizados en el mes de octubre 2020. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica y batimétrica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.



Plano 2. Localización de los sitios de monitoreo para el estudio marino-costero.

De forma particular, en cada sitio de monitoreo las actividades desarrolladas se resumen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN CADA SITIO DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO	**CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS Y BIOTA**	**ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS DUROS**	**ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS BLANDOS**	**ESTUDIO DE PECES**
R3	SI	SI	SI	SI
R33	SI	SI	SI	SI
Caimito Este	SI (excepto peces)	NO	SI	NO
R12	SI	SI	SI	SI
R15	Si	SI	SI	SI
R18	SI	SI	SI	SI
T1	SI	SI	SI	SI
T2	SI	SI	SI	SI
E-4	SI	NO	NO	NO
E-10	SI	NO	NO	NO

El estudio de la calidad del agua incluyó mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para la realización de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizó su granulometría y diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados.

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de muestreo.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y norma de calidad UNE/EN/ISO 17025. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos submarinos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. Se contó con un paramédico y buceador de apoyo en todos los muestreos realizados.

En todo momento se tuvo el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración por las facilidades prestadas durante el monitoreo.

3.2. Metodología para el estudio de la calidad del agua marina

Durante la realización de la campaña, y en cada sitio de muestreo, se llevaron a cabo medidas *in situ* con equipos y sondas multiparamétricas (YSI PROFESSIONAL y ORION) de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad de agua marina en toda la columna de agua:

- Temperatura del agua (ºC)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Sólidos totales disueltos, STD (g/L)
- Turbidez (NTU)
- Salinidad (ppt)

El método consistió en la introducción del cable-sonda en el agua a una profundidad aproximada de cada metro. El registro de datos se produjo una vez estabilizados los valores medidos. Después de cada muestreo los electrodos fueron lavados con agua destilada. La sonda se verificó todas las mañanas antes de comenzar la jornada de campo, y se verificó al final de la misma, empleando siempre patrones acreditados y homologados al efecto. También se evaluó el color aparente y transparencia del agua mediante interpretación visual directa.

Medidas in situ con equipo multiparamétricos de calidad de aguas.
(fotos del archivo de técnica de monitoreo de EES INTERNATIONAL, SA.)

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron muestras de agua marina con una botella Van Dorn a -1 m para analizar los siguientes parámetros físico-químicos en el laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025:

- Físicos: total de sólidos disueltos (STD) y total de sólidos en suspensión (TSS)
- Biológicos: DBO_5, COD
- Nutrientes: nitrato, nitrito, amoniaco, total de nitrógeno y fósforo
- Iones comunes: SO4, Cl, Mg, Ca, K, Na, F
- Orgánicos: aceites y grasas

- Cianuro: total y metales totales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn.

Las muestras de agua marina recogidas se conservaron con conservantes adecuados en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificado y almacenado en nevera refrigerada a 4ºC hasta su entrega en el laboratorio. Se han seguido los métodos de conservación para cada parámetro indicados en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods. Los métodos de análisis y límites de cuantificación se incluyen en el **Cuadro 3**.

CUADRO 3. MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN EN AGUA

PARAMETRO	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO DE ANÁLISIS	LC*
Fósforo total*	PT	mg/L	Método Estándar HACH 8048	< 0,02
Nitrógeno Amoniacal	NH4	mg/L	Método Estándar 4500 NH3C	< 0,02
Nitratos*	NO3	mg/L	Método Estándar HACH 8039	<0,3
Nitógeno orgánico	NORG	mg/L	Método Estándar 4500 org	<0,2
Sólidos en suspensión (TSS)	SS	mg/L	Método Estándar 2540 D	<1
Carbono orgánico disuelto	DOC	mg/L	Método Estándar 5310	<1
DBO_5	DBO_5	mg/L O	Método Estándar 2340	<5
Aceites y grasas	AYG	mg/L	Método Estándar 2320	<10
Iones comunes	ION	Mg/L	Varios métodos	

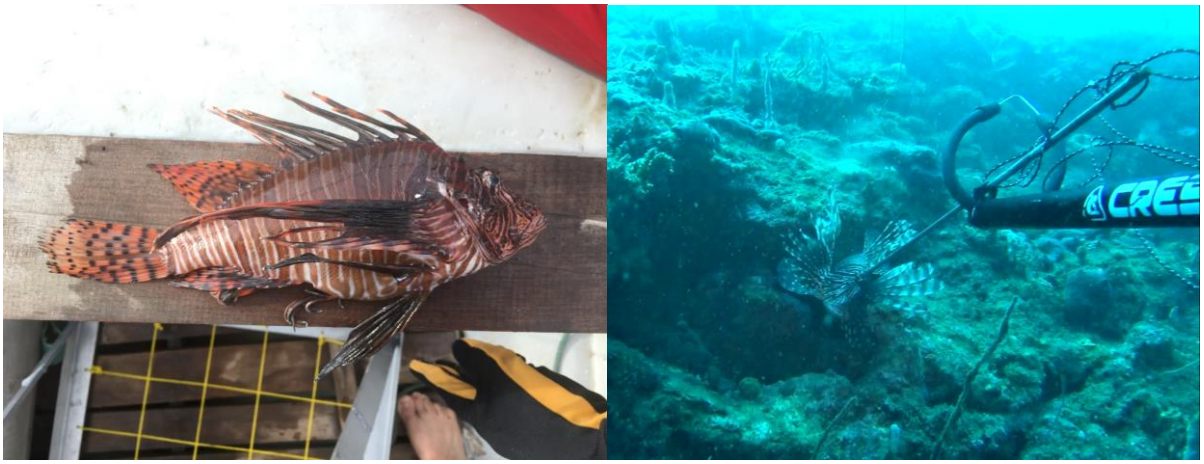
*Lc: Límite de Cuantificación. * Analizados en menos de 3-4 h del muestreo.

Toma de muestras de agua marina y sedimento con draga tipo Eckman.
(fotos del archivo de técnica de monitoreo de EES INTERNATIONAL, SA.)

3.3. Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento en los sitios de muestreo indicados en el **Cuadro 1**, para el análisis de los siguientes parámetros: composición granulométrica, carbono orgánico total (COT), hidrocarburos, aceites y grasas y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn en laboratorio acreditado (UNE-EN-ISO 17025).

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón por los propios buceadores o con una draga tipo Eckman en el sitio Caimito Este. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras refrigeradas hasta su entrega en el laboratorio.



Captura de pez león para análisis de metales pesados.
(fotos del archivo de técnica de monitoreo de EES INTERNATIONAL, SA.)

Asimismo, con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo y análisis del tejido de pez león (*Pterois antennata*)[3], a partir de las capturas de ejemplares con rifle-arpón recubierto de teflón. Los metales analizados en los ejemplares de pez león han sido los siguientes: Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V y Zn en laboratorio acreditado (UNE-EN-ISO 17025).

Las muestras de pez león se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada uno de los peces. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a –20°C hasta su envío al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron hasta peso constante a 80°C utilizando una estufa, maceradas en un mortero de porcelana y homogenizadas, hasta obtener 2 g de muestra seca.

[3] Se ha utilizado ejemplares de pez león, ya que tiene una dieta carnívora (peces, camarones y otros crustáceos, etc) y con su captura se ha contribuido a mermar sus poblaciones invasoras en el área, sin dañar a otras especies.

Posteriormente al secado, las muestras se trituraron con mortero de porcelana o en molinillo eléctrico, separando las porciones más gruesas. Se pasaron por un tamiz de 0.063 mm para obtener la fracción fina, se pesaron 0,30 ± 0,01 gramos de la muestra (fracción de 0,063 ó 0,4 mm) y se colocaron en un reactor de PTFE del microondas.

A continuación, se adicionaron 10 mL de HNO_3 y 2 mL de H_2O_2, y cerrados herméticamente se realiza la mineralización. Después de mineralizar la muestra, el residuo obtenido se filtra y se lleva a un matraz de 100 mL. Después, se enrasa con agua destilada. La muestra está en disolución, preparada para el análisis. El análisis de las muestras se llevó a cabo en un ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Modelo Perkin Elmer NexION 300.

Los límites de cuantificación para los diferentes metales analizados sedimentos y biota (peces) son los siguientes (ver **Cuadro 4**), siempre referidos a peso seco.

CUADRO 4. LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN PARA LOS DIFERENTES METALES ANALIZADOS

ANALITO	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC en mg/Kg peso seco)
Al	mg/Kg	6,9
As	mg/Kg	0,69
B	mg/Kg	6,9
Cd	mg/Kg	0,69
Cr	mg/Kg	3,6
Cu	mg/Kg	1,8
Fe	mg/Kg	6,9
Hg	mg/Kg	0,06
Mn	mg/Kg	3,6
Ni	mg/Kg	3,6
P	mg/Kg	3,6
Pb	mg/Kg	0,69
Sb	mg/Kg	0,69
Sn	mg/Kg	0,69
Zn	mg/Kg	3,6

3.4. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros)

Dentro de las métricas a analizar en los hábitats de fondos rocosos-duros se incluyen:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el substrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Uso observado del substrato por parte de los peces y otros organismos móviles.

En cada sitio de monitoreo somero y profundo definido anteriormente, se estableció un transecto lineal fijo paralelo a la costa, excepto en R3 y R33 que fueron perpendiculares. Para delimitar dicho transecto, se utilizaron en el año 2015 varillas de hierro, las cuales fueron enterradas al inicio y fin de cada transecto, como marca permanente para éste y los futuros eventos de monitoreo en estos puntos. Durante estos años, se ha tenido que ir reponiendo estas varillas, debido al efecto del desgaste y el oleaje.

Durante el presente monitoreo, se localizaban estas varillas y una vez identificado y establecido el transecto, se ha cuantificado cada 5 m mediante una cuadrata de 1 m^2 sujeto por una base, el porcentaje de cobertura (por m^2) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados.

Igualmente, se han tomado secuencias de fotos por cada cuadrata, que servirán para la evaluación de las tendencias con el paso del tiempo en estas ubicaciones y para verificar en el laboratorio el uso del sustrato por parte de peces y otros organismos móviles.

Para la movilización del personal y el equipo de trabajo, se utilizó un bote de fibra de vidrio de 25 pies de largo con motor fuera de borda de 60 hp facilitado por MINERA PANAMÁ. Los datos fueron recolectados a través de buceos de diferente duración realizados por un equipo de dos buzos profesionales con equipo de buceo autónomo y apoyo de un tercer buzo-paramédico desde la embarcación, con la observación de un buceador en superficie con snorkel.

Para la clasificación e identificación de los organismos se utilizaron las guías de identificación de Humann (2006) sobre corales, peces y creaturas arrecifales; en los libros de Veron (2000) para identificación y listado de especies corales pétreos; para la Identificación de corales blandos en campo, en la guía de Humann (2006), en la guía publicada por la Universidad de Warwick (2007) para la identificación visual de este grupo, otras guias STRI Bocas Data Base (2012) y Collin et al. (2005), para invertebrados. Además, se realizaron consultas a diferentes especialistas a partir de las muestras fotografiadas.

Para el cálculo de densidad por área a partir de imágenes se utilizó el programa CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel), que es un software basado en Windows (solo para PC) que proporciona una herramienta para la determinación de la cobertura de coral usando fotografías de transectos. Un número especificado de puntos espacialmente aleatorios se distribuyen en una imagen y las características subyacentes a los puntos son identificados por

el usuario. A continuación, se calculan las estadísticas de cobertura y se resumen los resultados en una hoja excell.

Los análisis y clasificación de las imágenes fueron llevadas a cabo por zoólogos marinos de amplia experiencia en estudios similares en el mar Caribe de Panamá, apoyados en algunos casos por especialistas en cada uno de los grupos estudiados.

Muestreo de fondos duros con cuadrante sobre soporte al que va incorporado la cámara submarina. Con esta técnica se ha mejorado la calidad y precisión de las fotografías submarinas en los cuadrantes de muestreo (fotos del archivo de técnicas de monitoreo de EES INTERNATIONAL, SA.)

3.5. Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)

El monitoreo de biología marina ha constado de:

- Monitoreo de la calidad del agua (química del agua), el cual se realizará durante el monitoreo marino (ver el punto anterior).
- Monitoreo de la calidad y estructura de los sedimentos, el cual una parte (química de los sedimentos) se realizará como parte del Monitoreo Marino y el tamaño de las fracciones del sedimento (ver el punto anterior).
- Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (bentos marino) en fondos blandos.
- Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león.
- Monitoreo de las concentraciones de metales en el tejido de los peces (ver el punto anterior).

A) Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

En los sitios de muestreo, se ha procedido a tomar 3 muestras de fondos blandos, utilizando una draga tipo Eckman de 0,0225 m^2 de área de apertura o mediante la ayuda de buceadores en una superficie aproximada de 0,045 m^2 y 5-10 cm de profundidad de sedimento. Las

muestras se rotularon y posteriormente fueron tamizadas en un tamiz de 500 micras de tamaño de malla, para eliminar el sedimento y retener los organismos bentónicos. Los organismos se almacenaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con la información de la colecta y fijados con alcohol al 95% para su análisis en laboratorio.

Para el análisis de las muestras, se empleó un estereoscopio y se utilizaron claves de identificación para diversos grupos taxonómicos como la de Fauchald, 1977; Salazar-Vallejos, 1991 y Liñeros, 1997 para los poliquetos; Abbott, 1954; Keen, 1971 para los moluscos; Rodríguez, 1980 para los crustáceos. La identificación se realizó de manera que se pudiera determinar hasta el menor taxón posible. Adicionalmente se ha obtenenido la información sobre densidad (n° individuos/m^2) y el número de individuos por especie.

B) Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león

Para la estima y censo de las poblaciones de peces, se ha seguido el método de censo visual de transecto de banda, al ser uno de los protocolos más utilizados para la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa de peces arrecifales (Brock 1982).

Con este método, el buzo nada en línea recta siguiendo la cinta métrica de 50 m de longitud situada en el fondo, con una anchura de observación variable en función de la visibilidad de cada sitio. En ese tiempo se realiza las estimaciones de riqueza de especies, mientras otro buzo nada de forma errante cerca de la zona en donde se encuentra fijado el transecto y un tercero nada en superficie (con snorkel y en sitios someros), obteniendo información adicional sobre presencia de peces de interés económico o ecológico (entre ellas, observaciones del pez león). Con la ayuda de una tablilla, los buzos anotaron sus observaciones; asimismo, se utilizaron cámaras submarinas de fotos y video para complementar la información obtenida con los recorridos visuales.

Se estimó la densidad (D) de cada especie según la siguiente expresión:

$$D=P*(n/L*W))$$

siendo n el número de peces, L la longitud del transecto (50 m), W la anchura de conteo (5 m a cada lado de la cinta, es decir 10 m) y P la probabilidad de detección (0,8), tabulando los resultados en clases y referido a ind/10^3 m^2.

3.6. Monitoreo de rompeolas

Durante el monitoreo de 2020 se ha continuado con los muestreos en el rompeolas del puerto de Punta Rincón iniciados en el monitoreo del año 2016, como parte de un estudio específico para valorar estas nuevas áreas como hábitats artificiales. Para ello, se seleccionaron siete (7) sitios de muestreo o transectos de control (RO1 a RO7), situados en la parte externa e interna del rompeolas y distribuidos de forma reprsentativa en toda su longitud. En el **Cuadro 5** se incluyen las principales características de los sitios de monitoreo en el rompeolas y actividades realizadas y en el **Plano 3** se localizan estos sitios y transectos en el rompeolas.

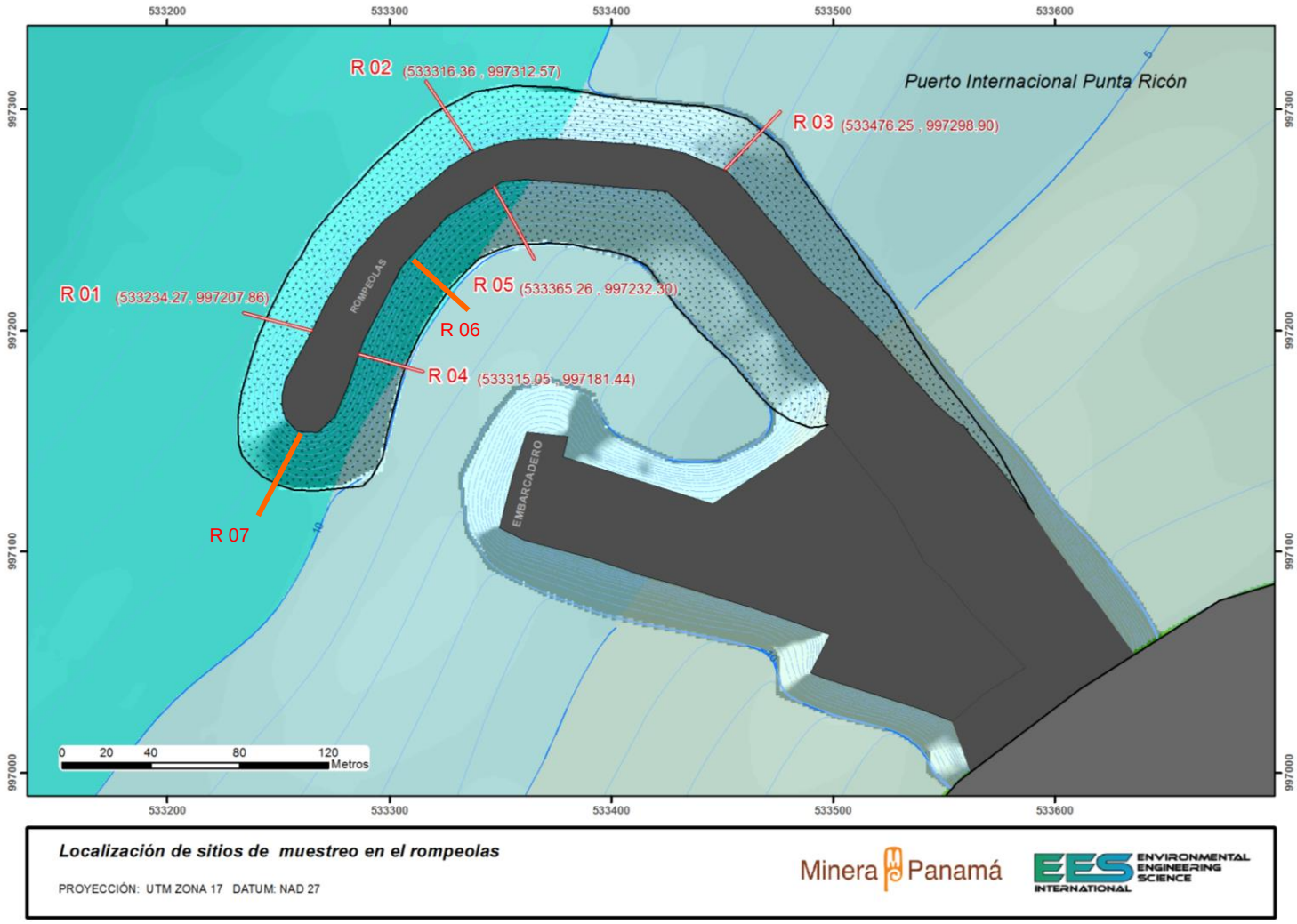
CUADRO 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO EN EL ROMPEOLAS

CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	ZONA ROMPEOLAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
RO1	Externa	Estudio fondos duros y peces	533234	997207
RO2	Externa	Estudio fondos duros y peces y calidad aguas	533316	997312
RO3	Externa	Estudio fondos duros, peces	533476	997298
RO4	Interna	Estudio fondos duros y peces	53480	997310
RO5	Interna	Estudio fondos duros y peces y calidad aguas	533315	997181
RO6	Interna	Estudio fondos duros y peces	533365	997232
RO7	Externa Extremo rompeolas	Estudio fondos duros y peces	533371	997244

Se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces, con la misma metodología descrita en el apartado anterior, centrando los trabajos en la determinación de las siguientes variables:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el substrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Composición y abundancia de peces.

Al igual que en el muestreo biológico en fondos duros, se ha cuantificado -utilizando una cuadrata de 1 m^2 el porcentaje de cobertura (%) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados, así como fotografía y vídeo submarino de cada sitio de muestreo. Igualmente, se tomaron muestras de agua en dos sitios para análisis químicos de los mismos parámetros que en el monitoreo marino-costero, uno en la parte interna del rompeolas (RO5) o puerto de abrigo y otra en la parte externa del mismo (RO3).



Plano 3. Localización de los sitios de monitoreo y transectos en el rompeolas.

4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS

4.1. Calidad de aguas

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros físico-químicos a -1 m y las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos se incluyen en el **Cuadro 6**.

Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, presentando cielos poco nublados (10-50% nubes), ausencia de lluvias y una temperatura ambiente en el rango de 28-30ºC, con mar en calma.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (sobre 6,3-6,8 mg/l y 100% de saturación), conductividades propias de agua de mar (46.500 μS/cm) y un pH de 8,0-8,8 unidades.La turbidez del agua en esta campaña se ha mantenido baja e inferior a 2 NTU.

Se destaca que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3ºC de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

Por su parte, en las gráficas 3D se incluyen los perfiles de temperatura, oxígeno disuelto y turbidez en toda la columna de agua de cada sitio de muestreo.

CUADRO 6. MEDIDAS IN SITU DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (-1 m) Y CONDICIONES DE LOS MUESTREO									
SITIO	**FECHA DE MUESTREO**	**VIENTO/OLEAJE**	**COND. MUESTREO**	**pH**	**TURBIEDAD (NTU)**	**T (ºC)**	**SAL. (PSU)**	**OD (mg/L)**	**OD (% SAT)**
R3	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,8	1,3	29,7	36,4	6,6	108,7
R33	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,6	1,4	29,8	36,8	6,6	108,3
Caimito Este	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,7	1,1	31,4	37,2	6,6	112,7
R12	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,8	0,9	29,9	36,3	6,7	110,1
R15	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,8	0,9	30,0	36,4	6,8	112,3
R18	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,5	1,0	29,9	36,7	6,6	109,1
T1	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,0	1,2	30,9	36,6	6,4	106,9
T2	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,6	1,2	30,1	36,5	6,3	114,5
E-4	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,7	1,5	30,1	36,4	6,5	106,1
E-10	16/10/20	Calma<1- B-<1 m	10-50% nubes	8,6	1,2	29,9	36,5	6,6	108,4

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Para el viento/oleaje se indica la dirección (rosa de los vientos), velocidad del viento (escala Beaufort) y altura de la ola (m).

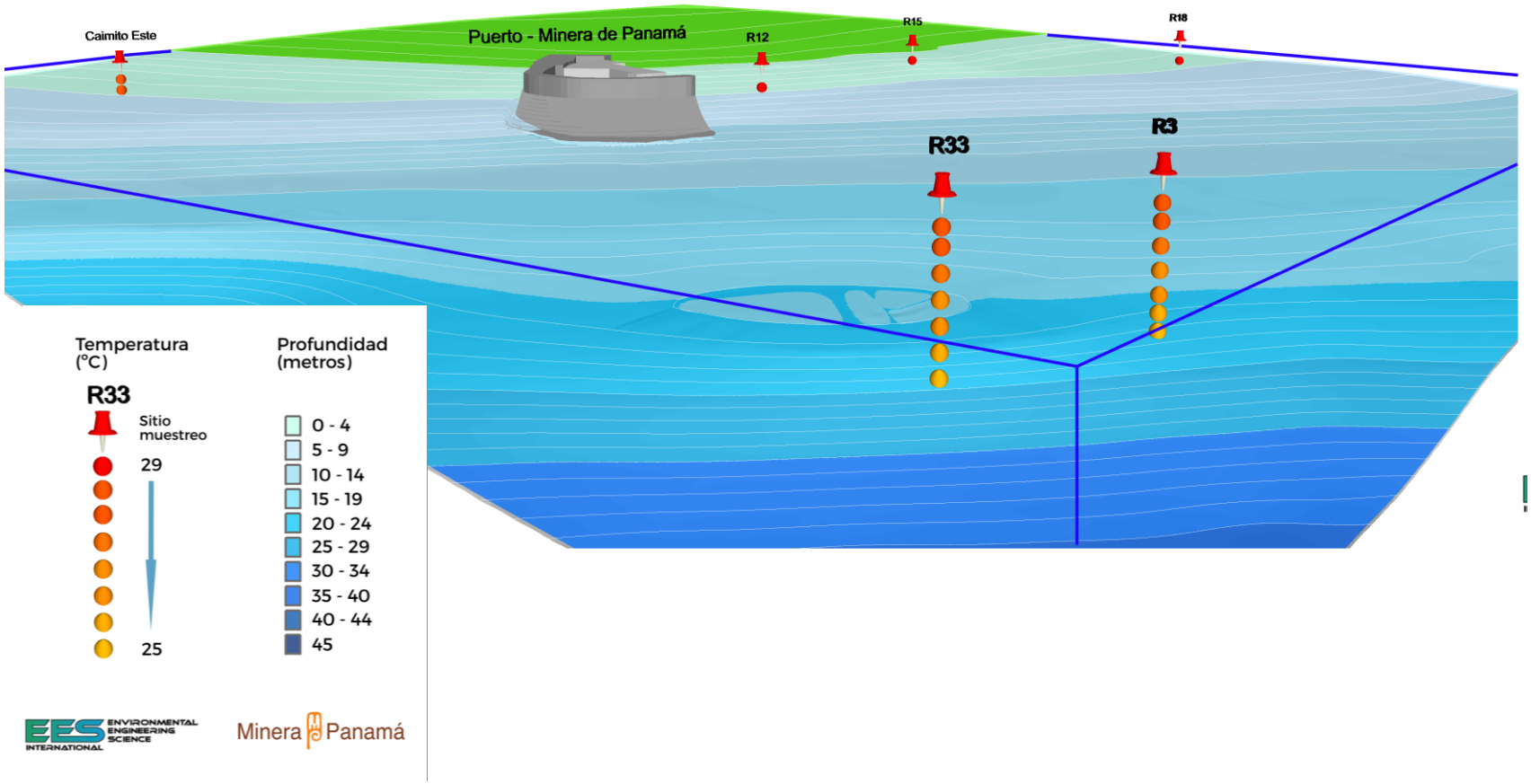


Figura 1. Perfiles de temperatura (ºC) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

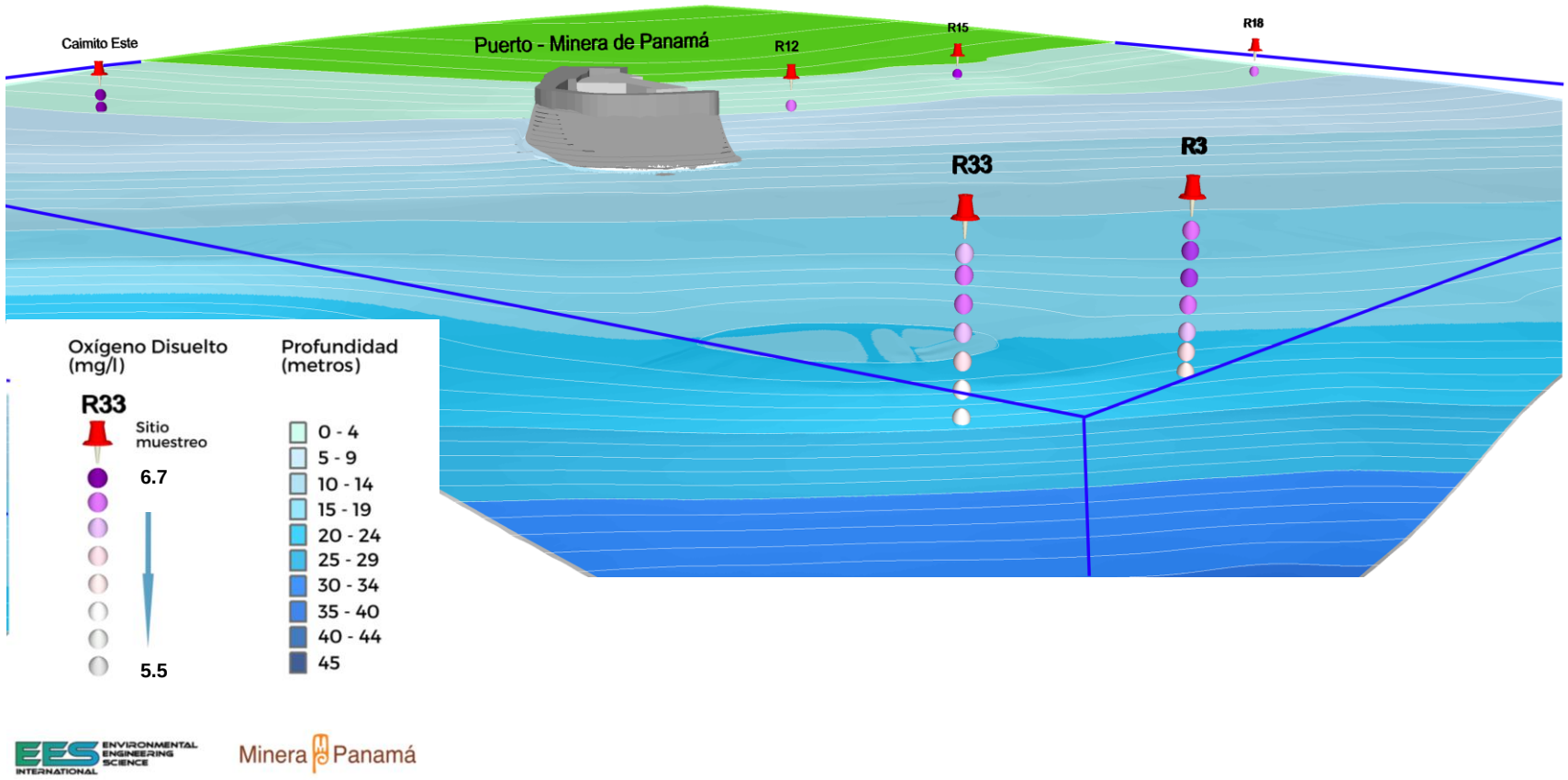


Figura 2. Perfiles de oxígeno disuelto (mg/L) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

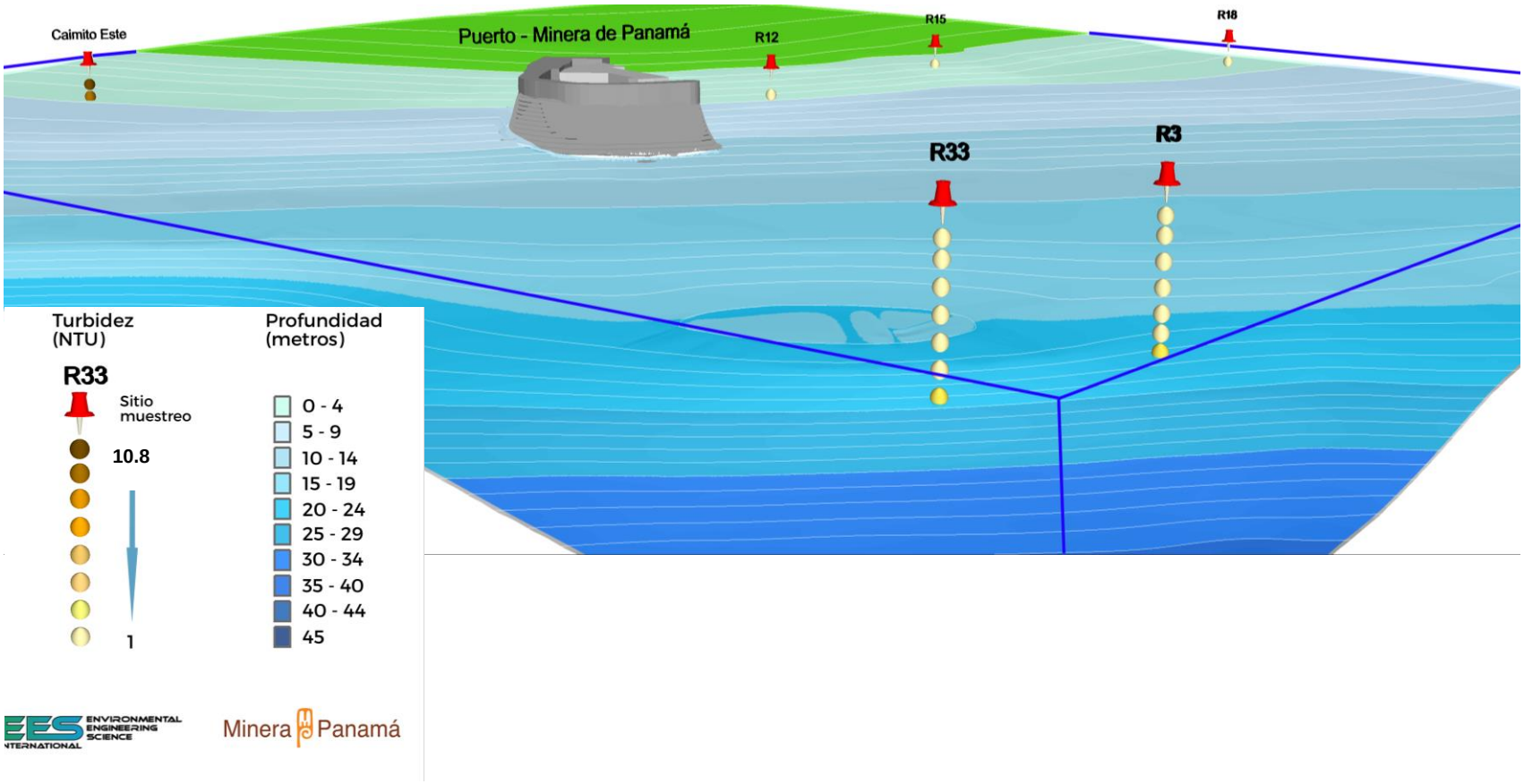


Figura 3. Perfiles de turbidez (NTU) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

4.1.2. Química del agua marina

En el **Anexo 1** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis de laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025 de todos los análisis realizados en agua marina.

En el **Cuadro 7** se resumen los resultados y el grado de cumplimiento de la norma legal. En relación a los resultados de calidad de aguas obtenidos, se destacan los siguientes puntos:

- Todos los sitios de muestreo presentan concentraciones en los parámetros analizados muy similares, sin diferencias significativas entre ellos. Son propios de aguas marinas del litoral del Caribe panameño, en donde no se aprecian efectos de la posible contaminación asociado con las obras de construcción del puerto o de la propia mina.

- Por su parte, el sitio de muestreo Caimito Este presenta, para algunos parámetros (TSD y nutrientes), concentraciones ligeramente más altas que el resto de sitios de muestreo, debido a que este punto se encuentra muy próximo a la desembocadura del río Caimito, que aporta este tipo de sustancias al agua procedente de la escorrentía de su cuenca.

- En ningún caso, las concentraciones de los parámetros analizados indican contaminación de origen antrópico, correspondiendo los valores más altos en el punto próximo a la desembocadura del río Caimito de origen telúrico.

Preparación de los equipos para el monitoreo submarino.

CUADRO 7. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA											
PARÁMETRO	**UNIDADES**	**CODIGO SITIOS DE MONITOREO**									
		R3	**R33**	**Caimito Este**	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**	**E-4**	**E-10**
TDS	g/L	31,20	31,20	31,40	31,45	31,35	31,43	31,28	31,41	31,25	31,30
TSS	mg/L	134	145	230	150	140	133	138	130	135	125
DBO_5	mg/L	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
COD	mg/L	1,0	1,2	1,3	1,0	0,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,4
Nitrato NO3	mg/L	0,10	0,09	0,12	0,10	0,08	0,10	0,15	0,07	0,08	0,07
Nitrito NO2	mg/L	0,010	0,010	0,010	0,010	0,015	0,010	0,015	0,010	0,010	0,010
Amonio NH4	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
N total	mg/L	1,2	1,1	1,3	1,0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,1	1,2
Fosf. PO4	mg/L	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Sulfatos SO4	mg/L	3330	3230	3200	2890	3600	3150	3290	3450	3400	3110
Cloruros Cl	mg/L	11.300	12.100	12.140	11.300	11.600	11.230	11.650	11.600	11.500	11.340
Magnesio	mg/L	1400	1250	1300	1100	1400	1340	1390	1150	1200	1050
Calcio	mg/L	340	310	320	340	330	300	370	410	365	270
Potasio	mg/L	490	610	520	522	535	560	570	450	520	430
Sodio	mg/L	9340	9550	9400	9750	9560	8900	8750	9510	9700	9230
Fluoruro	mg/L	1,00	1,10	1,00	1,00	1,00	1,20	1,10	1,00	1,10	1,00
Aceites y G	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Aluminio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Antimonio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Antomonio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

CUADRO 7. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA											
PARÁMETRO	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MONITOREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
Arsénico dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bario dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bario tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Berilio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Berilio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Hierro dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Hierro tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

CUADRO 7. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA										
PARÁMETRO	**UNIDADES**	**CODIGO SITIOS DE MONITOREO**								
		R3	**R33**	**Caimito Este**	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**	**E-4**	**E-10**
Manganeso dis.	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manganeso tot.	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno dis.	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno tot.	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plata dis	mg/L	0,340	0,356	0,388	0,420	0,320	0,345	0,420	0,356	0,560	0,210
Plata tot	mg/L	0,456	0,435	0,470	0,510	0,478	1,210	1,34	0,54	0,35	0,49
Plomo dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plomo tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cianuro	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

4.2. Calidad de sedimentos

4.2.1. Análisis granulométrico de sedimentos

Para el análisis granulométrico del sedimento, se utilizó el método de tamizado mecánicos de Folk (1957), siguiendo los procedimientos de la norma UNE-EN-ISO ISO 3310/1. Las muestras de sedimento marino se secaron en un horno Selecta a 110 º C, por un período de 24 horas.

A continuación, se retiró 100 gramos de cada muestra seca, que se tamizaron sobre una batería completa de tamices (1 mm, 0.5 mm, 0.250 mm, 0.125 mm, 0.063 mm y <0.063 mm), a fin de separar las fracción gruesas (grava-arena-limos gruesos) y las fracciones finas (limos medios-arcillas) de cada muestra. Las fracciones retenidas en cada tamiz, se pesaron para determinar los porcentajes correspondientes a cada fracción.

Columna de tamices y balanzas de precisión empleados para los análisis granulométricos de sedimentos marinos (fotos del archivo de técnicas de monitoreo de EES INTERNATIONAL, SA.)

En los gráficos adjuntos se incluyen las curvas granulométricas de cada sitio de muestreo, como valores medios y representativos de los diferentes monitoreos completados hasta la fecha.

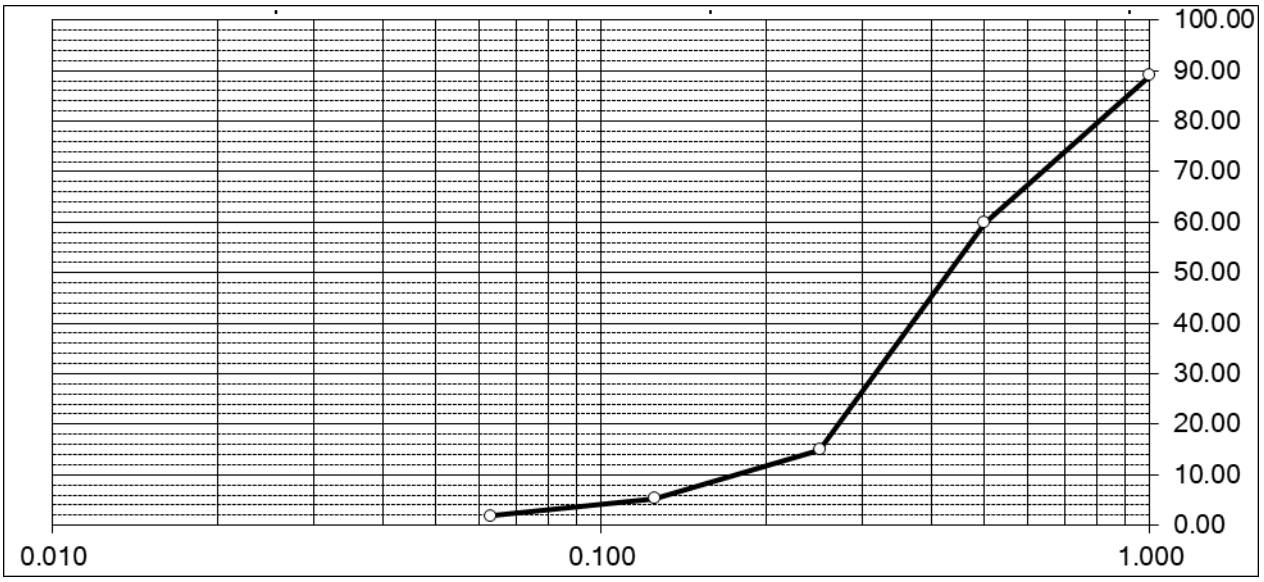


Gráfico 1. Curva granulométrica característica R12.

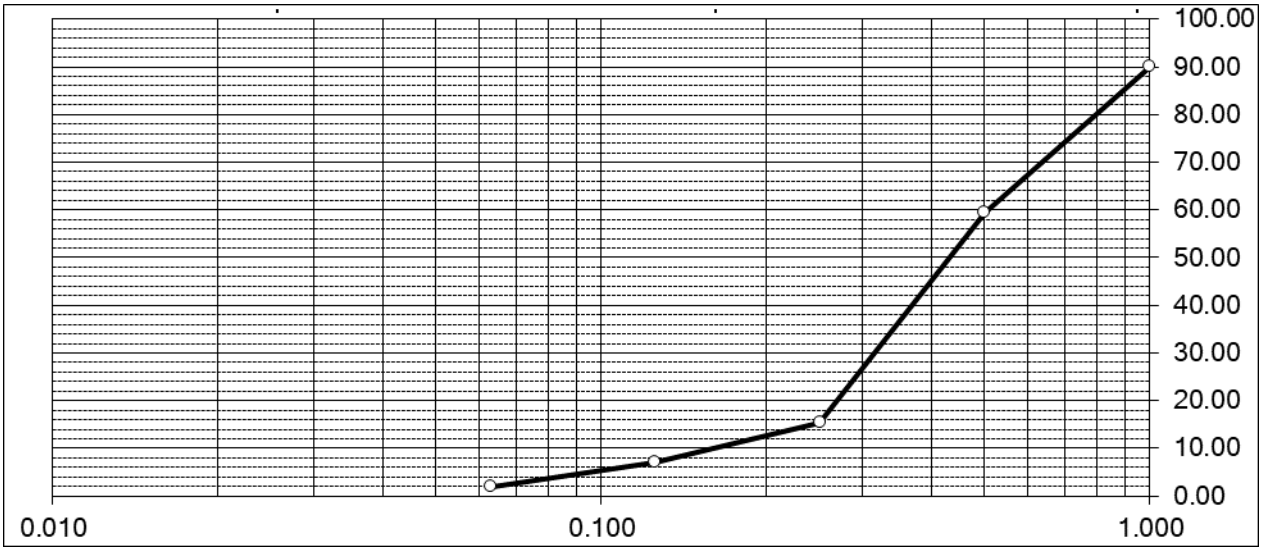


Gráfico 2. Curva granulométrica característica R15.

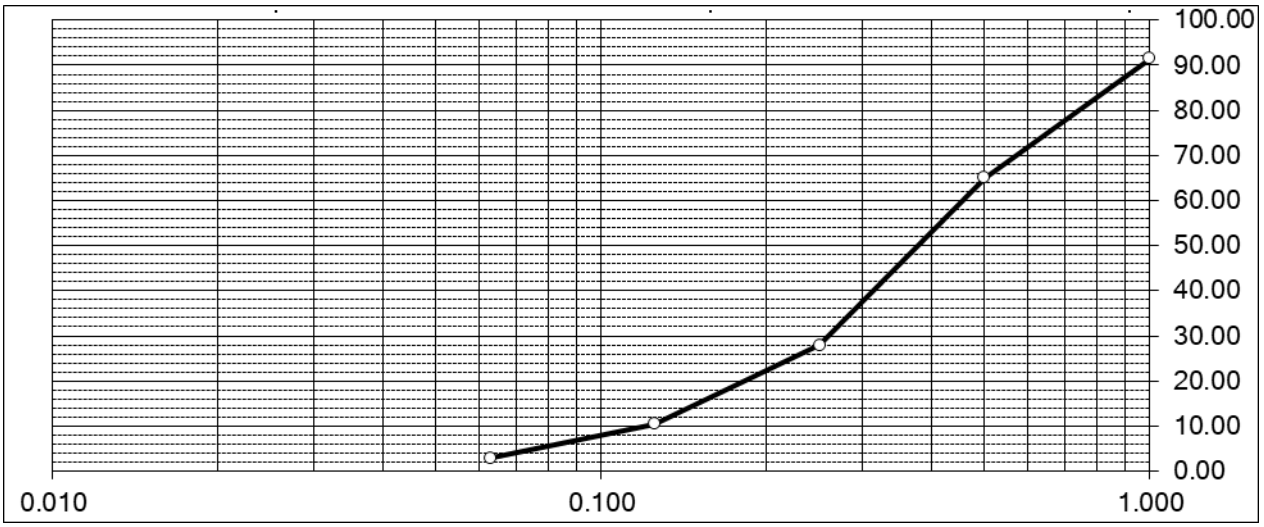


Gráfico 3. Curva granulométrica característica R18.

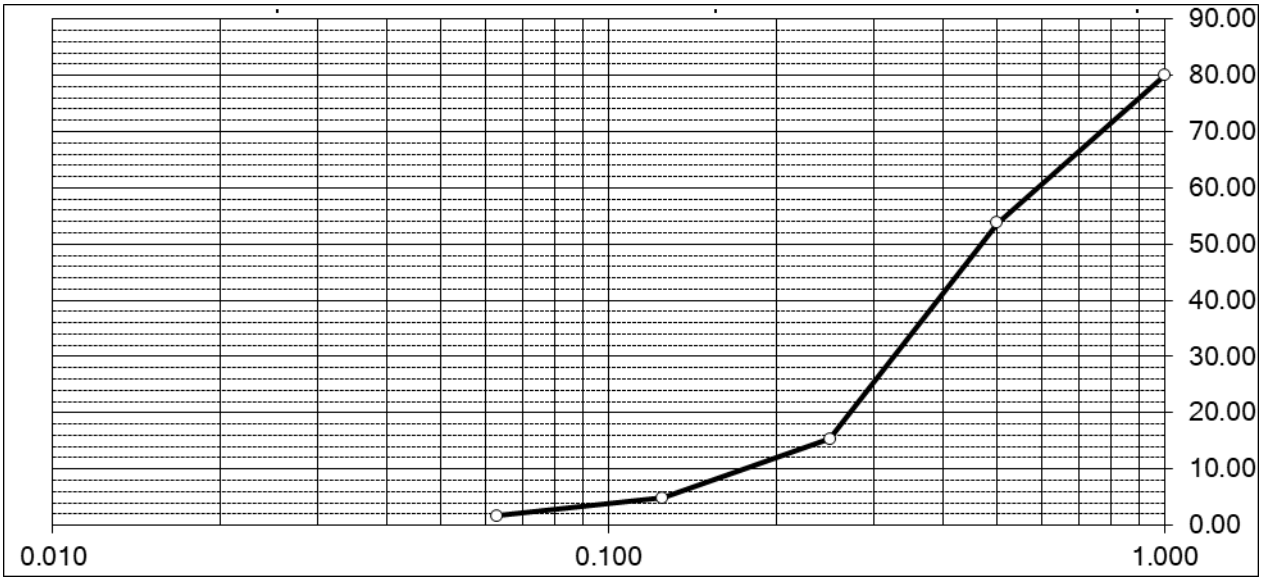


Gráfico 4. Curva granulométrica característica R3.

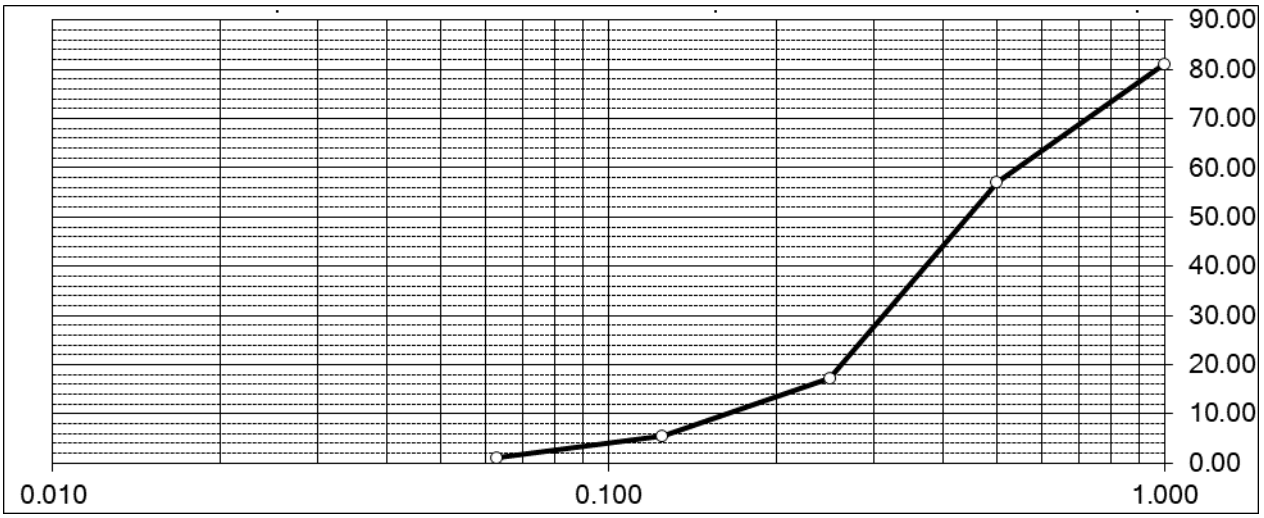


Gráfico 5. Curva granulométrica característica R33.

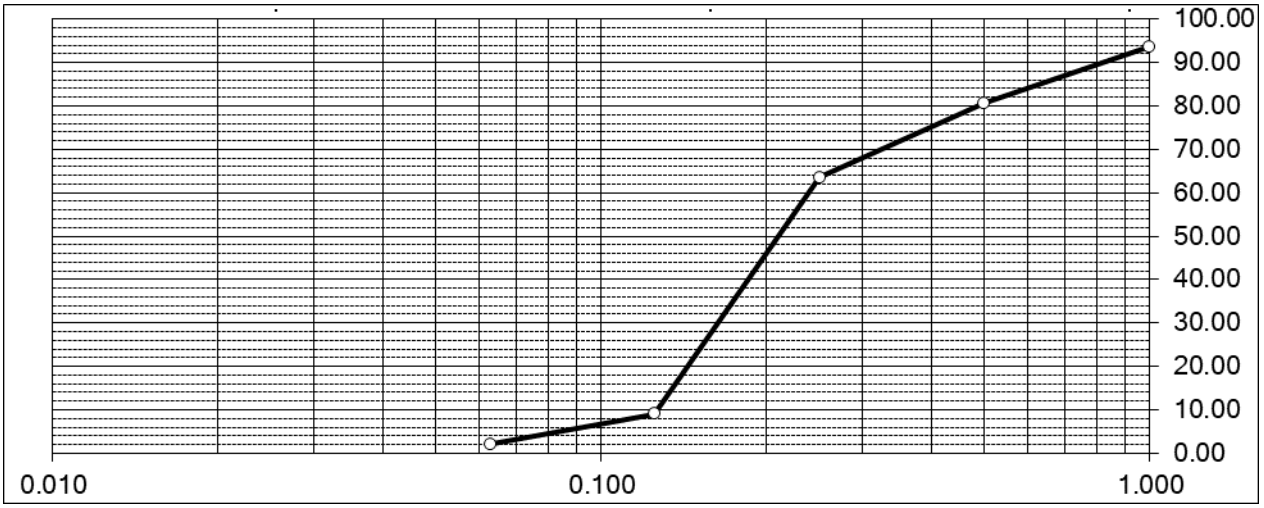


Gráfico 6. Curva granulométrica característica Caimito Este.

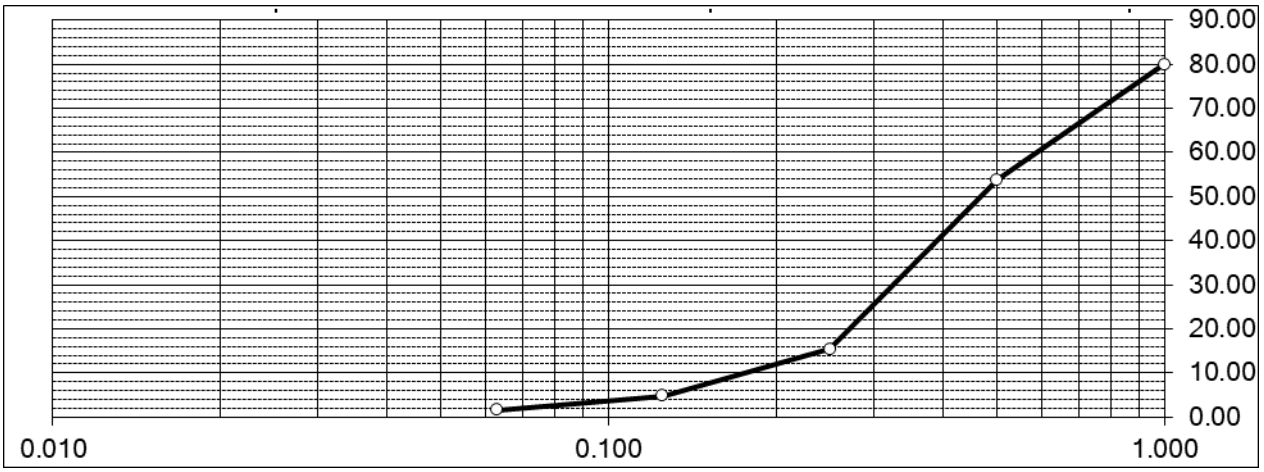


Gráfico 7. Curva granulométrica característica T1.

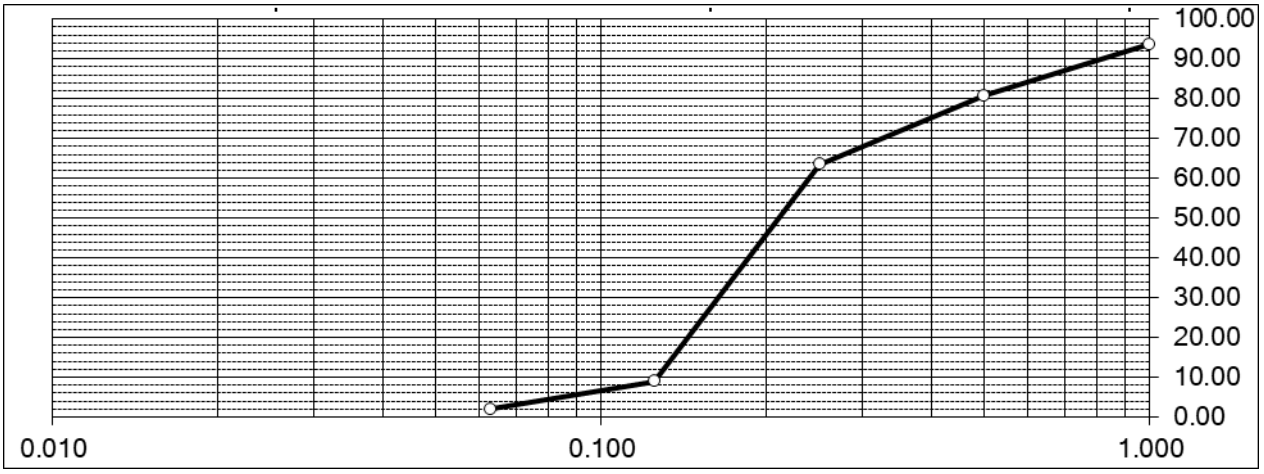


Gráfico 8. Curva granulométrica característica T2.

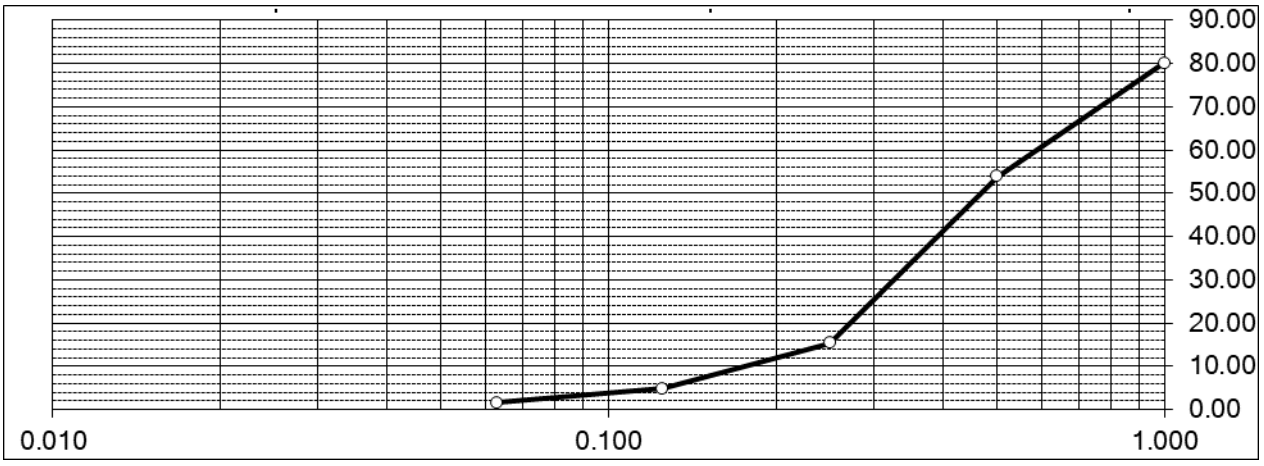


Gráfico 9. Curva granulométrica característica E-4.

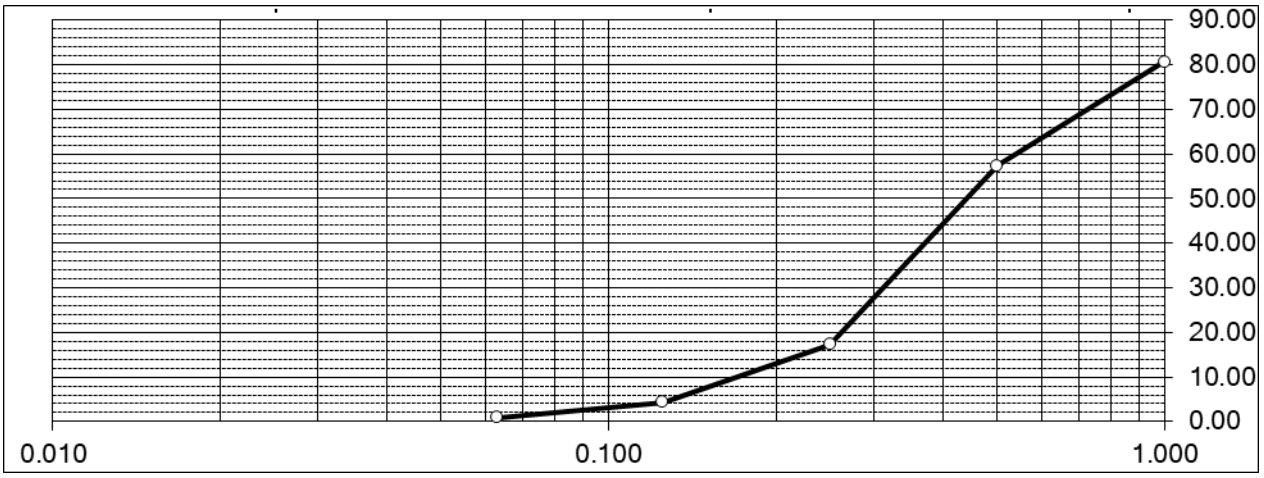


Gráfico 10. Curva granulométrica característica E-10.

Los resultados obtenidos indican que los fondos blandos que componen los diferentes sitios de muestreo son relativamente homogéneos en su composición granulométrica. Predominan las arenas medias a gruesas, sin diferencias significativas entre las muestras, y características del litoral caribeño. Caimito Este se comporta ligeramente diferente al resto de sitios, con mayor predominio de la componente de 0.125 mm.

Por consiguiente, no se aprecia efectos asociados con la construcción del Puerto o de las actividades de la mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros de R12, R15 y R18 (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los situados en áreas más profundas (R3 y R33). Los sitios T1 y T2 presentan una composición mayoritaria de arenas, al igual que E-4 y E-10.

En el **Gráfico 11** se representan de forma porcentual (%) la distribución granulométrica en cada sitio muestreado.

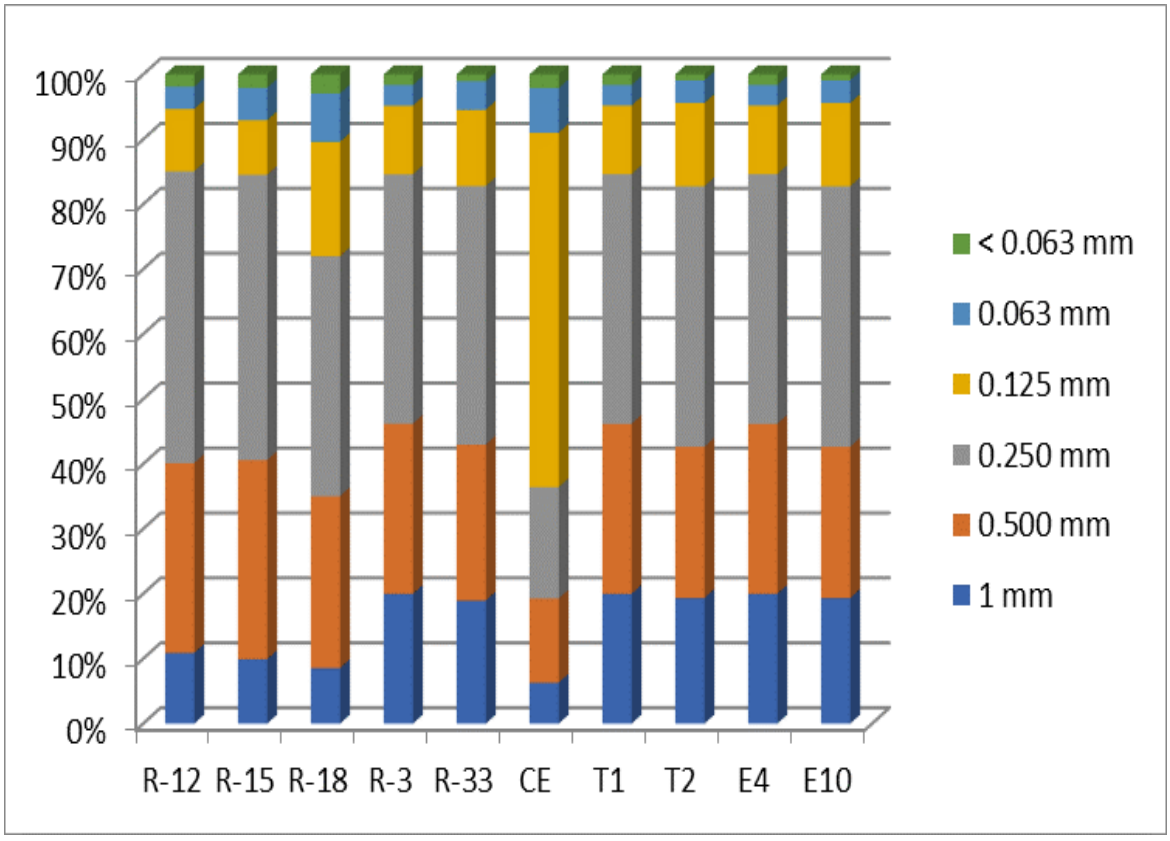


Gráfico 11. Distribución porcentual (%) de la composición granulométrica en los diferentes sitios de muestreo (gravas y arenas muy gruesas >2mm; arenas 0.06-2 mm; <0.06 mm arcillas y limos). Valores medios y representativos de los diferentes monitoreos completados hasta la fecha.

4.2.2. Análisis de sedimentos

Para valorar el grado de contaminación de los sedimentos se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 1995).

El protocolo canadiense contempla dos niveles de referencia (ver **Cuadro 8**): el límite de efectos bajos (LEB) y el límite de efectos altos (LEA), tanto para sedimentos de agua dulce como para sedimentos de agua marina.

En los dos casos, el primero expresa la concentración por debajo de la cual la probabilidad de toxicidad es menor del 20% y el segundo define el nivel por encima del cual la probabilidad de toxicidad es mayor del 50%.

CUADRO 8. PROTOCOLO DEL CONSEJO CANADIENSE DE LOS MINISTERIOS DEL AMBIENTE (CCME). SEDIMENTOS DE AGUA DULCE

ELEMENTO	LÍMITES EFECTOS BAJOS (LEB)	LÍMITE EFECTOS ALTOS (LEA)
	mg/kg de suelo	
Arsénico	5,90	17
Cadmio	0,60	3,50
Cromo	37,3	90
Cobre	35,7	197
Plomo	35	91,3
Mercurio	0,17	0,486
Zinc	123	315

Por su parte, en el **Cuadro 9** y **Anexo 1** se recogen los análisis de metales pesados totales en sedimentos referido a materia seca (s.m.s.).

No se han encontrado diferencias significativas en el contenido en metales pesados y otros compuestos entre los sitios de muestreo analizados.

Para todos los sitios de muestreo, los metales en sedimentos cumplen con el límite de efectos bajos (LEB), por lo que no se han detectado efectos de contaminación en el entorno del puerto y la mina.

Por su parte, los valorse de carbono orgánico y otros compuestos son típicos de sedimentos no alterados y propios de la zona marina litoral estudiada.

CUADRO 9. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SEDIMENTOS											
PARÁMETRO	**UNIDADES (sms)**	**CODIGO SITIOS DE MONITOREO**									
		R3	**R33**	**Caimito Este**	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**	**E-4**	**E-10**
COT	mg/kg	1,8	1,6	2,2	1,7	2,0	1,8	2,0	1,7	1,8	1,9
Aceites y grasas	mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
HIT	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/kg	7400	7200	7600	7200	8100	7200	6950	7140	7250	7160
Antimonio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/kg	30,0	20,0	15,1	10,2	14,2	12,1	10,4	20,1	18,3	10,1
Bario tot	mg/kg	10,3	10,5	15,5	11,1	12,4	11,6	10,6	10,2	11,3	10,2
Berilio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/kg	0,9	1,1	1,2	1,0	0,9	2,7	1,1	1,8	1,0	1,6
Hierro tot	mg/kg	21.400	21.100	22.150	19.300	20.400	21.560	21.240	21.360	20.480	19.600
Manganeso tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

CUADRO 9. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SEDIMENTOS										
PARÁMETRO	**UNIDADES (sms)**	**CODIGO SITIOS DE MONITOREO**								
		R3	**R33**	**Caimito Este**	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**	**E-4**	**E-10**
Níquel tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plata tot	mg/kg	2,3	2,1	2,3	2,1	2,2	2,1	2,3	2,0	1,5	2,5
Plomo tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

NOTA: referido a materia seca (s.m.s.).

4.3. Análisis de metales pesados en peces

Por su parte, en el **Cuadro 10** y **Anexo 1** se recogen los análisis de metales pesados totales en tejidos de pez león, seleccionado como especie objetivo, referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 10. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN PECES (PEZ LEÓN)

PARÁMETRO	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO				
		R3	R33	R12	R15	R18
Aluminio tot	mg/kg	66	55	40	77	81
Arsénico tot	mg/kg	1,5	1,7	1,8	1,2	1,5
Bario tot	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Berilio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cinc tot	mg/kg	20,1	25,8	20,8	22,7	15,9
Cobalto tot	mg/kg	0,20	0,21	0,40	0,10	0,13
Cobre tot	mg/kg	2,8	2,4	2,9	2,6	1,9
Cromo tot	mg/kg	0,10	0,20	0,24	0,18	0,25
Hierro tot	mg/kg	42,5	56,7	60,1	50,6	67,8
Manganeso tot	mg/kg	160,2	150,3	147,1	165,2	140,6
Mercurio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Molibdeno tot	mg/kg	0,20	0,34	0,31	0,30	0,31
Níquel tot	mg/kg	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
Plomo tot	mg/kg	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
Selenio tot	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Vanadio tot	mg/kg	0,14	0,22	0,20	0,10	0,20

NOTA: referido a materia seca (s.m.s.).

Las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo.

Teniendo en cuenta la norma de referencia europea para contenido de metales pesados en productos alimentarios de carne de pescado (diferentes reglamentos CE 2006-2015), se cumple con el límite para plomo (0,30 mg/kg), cadmio (0,25 mg/kg) y mercurio (0,5-1,0 mg/kg). Para el resto de metales pesados no se cuenta con valores legales de referencia.

4.4. Hábitats de fondos duros

4.4.1. Introducción

En la costa del Caribe, en la parte central de Panamá, predominan las playas arenosas de poca pendiente y con fuerte oleaje, caracterizadas por poseer ecosistemas marinos sublitorales (arrecifes de corales) agrupados en pequeñas colonias asociados a rocas de origen basáltico.

Las formaciones coralinas asociadas a estos tipos de fondos se consideran arrecifes de tipo costeros, bordeante o someros, por encontrarse entre 1 o 5 metros. Sin embargo, también en algunas ocasiones estas formaciones se pueden encontrar entre los 25 y 35 m de profundidad, y están recubiertos por una capa delgada de organismos como plantas, esponjas y colonias aisladas de corales. Estos organismos, además de ser raros, son poco conocidos, y guardan una estrecha relación con otras especies que allí habitan, ya que son utilizados como recursos tróficos o refugio.

Los fondos duros rocosos juegan un rol importante en la ecología y la fauna típica asociada. La complejidad del sustrato que posean estos fondos, arenoso o rocoso, determinará el éxito de las especies que colonizan esta zona.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada a baja turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente.

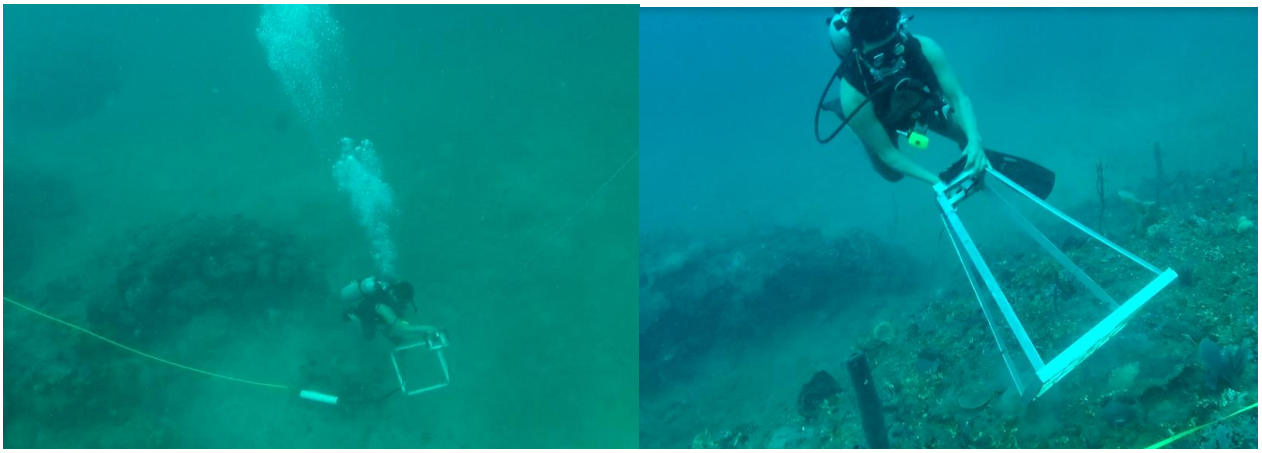
Se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de fondos duros, divididos en fondos profundos –que se corresponden con los sitios de muestreo R3 y R33- y los fondos someros –R12, R15 y R18-. Cabe indicar que, además de los reconocimientos visuales de los buceadores y su anotación en libretas, se ha empleado en este trabajo de forma novedosa la identificación automática de imágenes de cada cuadrante mediante la técnica CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel). Igualmente, se contó con el asesoramiento de especialistas en la identificación complementaria de los diferentes grupos biológicos.

4.4.2. Fondos duros profundos

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transepto en los sitios R3 y R33 de fondos duros profundos, se resumen en el **Cuadro 11**.

En el **Cuadro 12** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos en R3 y R33.

CUADRO 11. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS PROFUNDOS		
GRUPO BIOLÓGICO	**R3**	**R33**
Corales	12,5	9,7
Gorgóneas	2,8	3,7
Esponjas	15,1	11,6
Zoántidos	1,2	2,4
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0,1	0,2
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	14,1	15,6
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	52	53,8
Desconocidos	2,2	3,0



Monitoreo de fondos duros con técnicas de cuadrante y reconocimiento de imágenes.

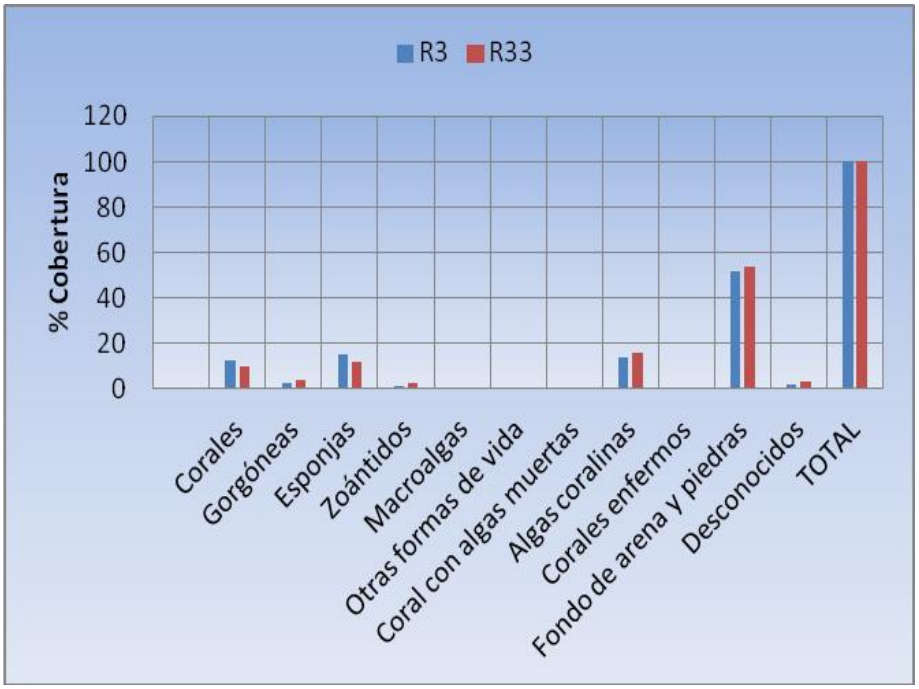


Gráfico 12. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros profundos

CUADRO 12. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS PROFUNDOS			
GRUPOS BIOLÓGICOS	**NOMBRE DE LA ESPECIE**	**R3**	**R33**
Corales	*Agaricia agaricites*	3,3	3,5
	Agaricia lamarcki	1,5	1,4
	Agaricia undata	2,1	2,5
	Agaricia fragilis	1,1	0,5
	Agaricia grahamae	1,5	0,5
	Diplora clivosa	0,9	1,1
	Isophyllia sinuosa	2,2	2,5
	Favia fragum	1,2	0,5
	Meandrina meandrites	0,5	0,5
	Mycetophyllia ferox	1,3	0,5
	Sidastrea sideresa	1,5	0,5
Algas	*Halimeda tuna*	3,6	6,1
	Lobbophora variegata	3,1	0,1
	Penicillus pyriformis	1,7	2,3
	Ventricaria ventricosa	0,9	1,5
	Galaxaura sp	0,7	1,1
	Dictiota menstrualis	0,7	0,5
	Amphiroa fragilíssima	2,4	0,5
	Amphiroa rigida	1,2	0,5
Esponjas	*Amphimedon compressa*	*0,5*	*0,5*
	Aplysina cauliformis	*1,2*	*0,5*
	Aplysina fulva	0,9	1,4
	Callyspongia vaginalis	0,1	1,1
	Verungula rigida	1,1	2,3
	Clathrina primordialis	2,2	1,5
Gorgoneas y coral blando	*Ircina campana*	0,5	2,1
	Ircina strobilina	0,5	0,5
	Spirastrella coccinea	0,5	0,5
	Verongula gigantea	0,1	0,5
	Xestospongia muta	0,1	0,1
	Xestospongia subtriangularis	2,4	2,3
	Pseudopterogorgia acerosa	2,1	3,1
	Pseudopterogorgia americana	1,3	2,8
	Muriceopsis flavida	0,5	0,5
Ascidiea	*Ascideas sp*	1,3	1,4
Zooantidos	*Palytoa caribeorum*	1,2	2,6
Poliquetos	*Spirobranchus giganteus*	0,5	0,5
Crustaceos	*Panulirus argus*	0,5	2,3
Equinodermos	*Nemaster grandis*	0,5	0,5

Sitio de muestreo R3

Corales

En el transepto R3 se registraron colonias de corales formadoras de arrecifes de profundidad con un 12,5% de cobertura; entre las once especies registradas se puede mencionar como dominantes a las especies *Agaricia agaricites*, *Isophyllia sinuosa, Diplora clivosa, Agaricia undata y Sidastrea sidérea*. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales, por ser típicas de fases en reclutamiento inicial.

Algas o Algas Coralinas

En este punto por ser sitio profundo, predominaron las algas coralinas con un 14,1% de cobertura, El grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes (Clorofitas), Las algas rojas (Rodofitas) *Amphiroa fragilissima y A, rigida*, entre mezcladas junto a estas se encuentran *Labbiophora variegata y Penicilluus pyriformis* especies con alto contenido de carbonato de calcio (algas coralinas incrustantes) y que juegan un papel fundamental en la consolidación y estabilización de los arrecifes de corales.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó ser el segundo más abundante y un 15,1% de cobertura; entre las principales especies se encuentran: *Clathrina primordialis, Ircina campana, Ircina strobilina, Spirastrella coccínea* y *Verongula gigantea*, La mayoría de estas especies aparecen formando colonias dispersas y de crecimiento moderado, lo que indica que la poca luz y la profundidad son los factores más limitantes para el crecimiento de este grupo de organismos.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,8% de la cobertura en el sitio R3, En los dos transectos se registraron las especies *Pseudopterogorgia acerosa* y *Pseudopterogorgia americana*.

Desconocidos y otras formas de vida

Los grupos denominados como “desconocidos y otras formas de vida” representan el 2,2% de cobertura registrada, en las que se registran las Ascidias y los invertebrados marinos como *Spirobranchus giganteus, Nemaster grandis, Panilirus argus* y el Crinoideo (*Nemaster grandis*).

Zooantidos

Otro grupo importante son los zooantidos, enmarcados en los corales blandos, representados por *Palytoa caribeorum* con 1,2% de cobertura en este transepto.

Sitio de muestreo R33

Corales

Los resultados del análisis de imágenes en este sitio profundo R33 señala que el 9,7% está constituido por once especies de corales; entre las especies más abundantes se puede mencionar *Agaricia agaricites, Agaricia undata, Diplora clivosa y Isophyllia sinuosa.*

Algas o Algas Coralinas

En este punto -por ser sitio profundo-, predominaron las algas coralinas con un 15,6% de cobertura, También en este sitio, el grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes como *Halimeda tuna*, *Lobbophora variegata* y *Galaxaura sp;* y rojas (Rodofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Amphiroa fragilissima y A, rigida*, juntas contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona, Entremezclado con la roca, se encuentran áreas de arena, típica de las formaciones coralinas de algas de algunos fondos del Caribe.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó con un 11,6% de cobertura, Entre las especies más significativas se encuentran: *Aplysina cauliformis, Aplysina fulva, Aplysina lacumosa, Ircina campana, Ircina strobilina, Spirastrella coccinea, Verongula gigantea* y *Xestospongia muta*, Las condiciones son muy similares al sitio R3, ya que la mayoría de estas especies se reportan formando colonias dispersas y de crecimiento moderado, lo que indica que la poca luz y la profundidad son los factores más limitantes para el crecimiento de este grupo de organismos.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 3,7% de la cobertura, Las especies *Pseudopterogorgia amaericana y Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.

Desconocidos y otras formas de vida

Los “desconocidos y otras formas de vida” representan el 3,0% de cobertura registrada, es decir en los que se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos cono *Spirobranchus giganteus, Panilirus argus, Echinometra lucunter* y *Nemaster grandis*.

Zooantidos

Los zooantidos, al igual que en R3, están representados por *Palytoa caribeorum* con 2,4% de cobertura.

Vista general del ecosistema de fondos duros (R3 foto superior y R33).

4.4.3. Fondos duros someros

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios R12, R15 y R18 de fondos duros someros se resumen en el **Cuadro 13**.

Por su parte, en el **Cuadro 14** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos.

CUADRO 12. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS SOMEROS			
GRUPO BIOLÓGICO	**R12**	**R15**	**R18**
Corales	6,4	6,1	4,2
Gorgóneas	1,2	2,2	1,8
Esponjas	8,6	8,5	8,9
Zoántidos	2,2	0,5	1,1
Macroalgas	0	0	0
Otras formas de vida	2,3	1,8	1,3
Coral con algas muertas	0	0	0
Algas coralinas	2,1	1,1	1,6
Corales enfermos	0	0	0
Fondo de arena y piedras	76	78,7	79,8
Desconocidos	1,2	1,1	1,3

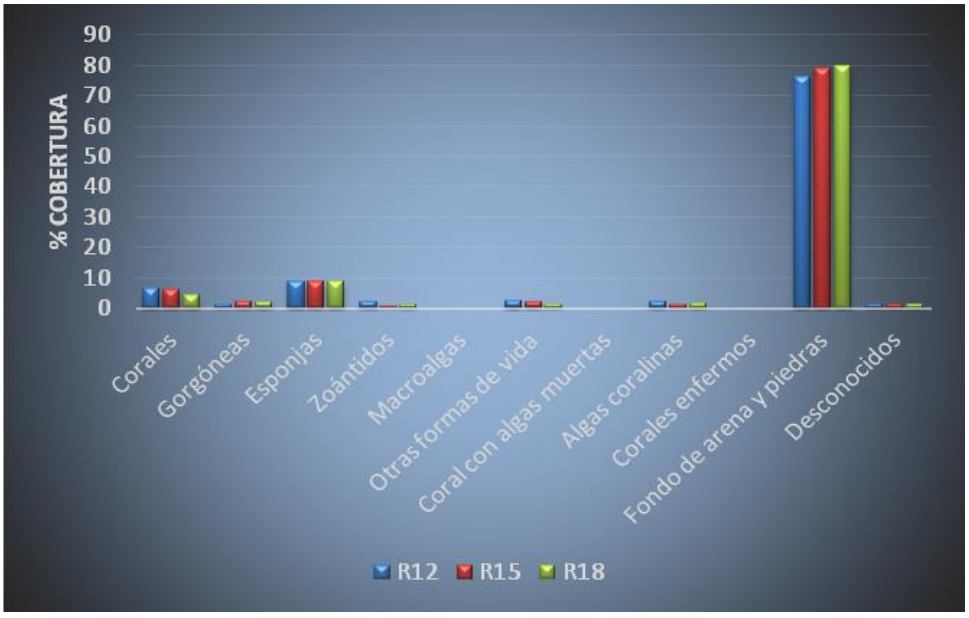


Gráfico 13. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros someros.

CUADRO 13. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS SOMEROS

TAXAS	ESPECIES	R12	R15	R18
Corales	*Agaricia agaricites*	3,8	3,2	2,7
	Agaricia undata	1,1	1,2	1,3
	Agaricia fragilis	0,5	0,5	0,5
	Agaricia grahamae	0,5	0	0,5
	Diplora clivosa	0,5	0,5	0,5
	Porites asteroides	3,2	4,2	1,1
	Millepora sp	2,1	3,5	2,5
	Siderastrea siderea	2,6	0,5	2,5
Algas				
Clorofitas	*Halimeda tuna*	0,5	0,5	0,5
Faeofitas	*Dictiota menstrualis*	2,6	1,3	0,5
	Padina pavonica	0,5	1,2	1,3
Rodofitas	*Amphiroa fragilíssima*	0,5	0,5	1,1
Poríferos (Esponjas)	*Aplysina cauliformis*	1,1	0,5	2,5
	Aplysina fulva	0,5	1,1	0,5
	Callyspongia vaginalis	1,5	2,3	2,3
	Clathrina primordialis	4,2	2,4	1,6
	Ircinia campana	6,8	3,4	0,5
	Xestospongia muta	0,5	0,5	0,5
Gorgóneas	*Pseudopterogorgia acerosa*	0,5	1,1	0
	Pseudopterogorgia americana	0	1,1	0,5
	Muriceopsis flavida	0,5	1,2	1,4
Zooantido	Palytoa caribaearum	0,5	1,8	2,1
Otros	Ascideas sp	2,3	1,3	0,5
Poliquetos	Spirobranchus giganteus	1,1	1,2	0,5
Crustáceos	*Panulirus argus*	1,1	0,5	1,3
Equinodermos	*Echinometra lucunter*	0,5	0,5	0,5

Este tipo de fondo costero o bordeante se caracteriza por presentar restos de promontorios rocosos o arrecifes fósiles, alternados con playas arenosas y rocas de origen basáltico. En estos transectos predominó este tipo de fondo, para el sitio R12 con 74,9%; el sitio R15 con 75,9% y para R18 con 76,2%. Entre los aspectos más limitantes se encuentra el oleaje -que puede llegar a ser muy fuerte en algunas épocas del año- y la sedimentación proveniente de los ríos y quebradas que desembocan en esta zona, que son distribuidos a lo largo de la costa por las corrientes y las olas.

Corales

Los arrecifes de esta área muy cercanos a la costa son colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea sidérea, Agaricea undata, Agaricia agaricites y Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. De esta forma, R12 con un 6,4% de cobertura, R15 con un 6,1% y R18 con 4,2% de cobertura de en todo el transepto.

Algas y Algas Coralinas

En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron en R12 con 2,1%, R15 con 1,1% y R18 con 1,6%, ligeramente inferior a otros monitoreos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transectos algas como *Halimeda tuna, Amphiroa fragilissima, Chondrophycus papillosus, Dictiota mestrualis, Padina pavonica y Galaxaura obtusata*.

Esponjas

Los poríferas son los organismos más conspicuo y abundante y en gran parte los primeros colonizadores de fondos rocosos; pueden alcanzar un número, tamaño y forma de acuerdo a las condiciones de oleaje, corrientes, turbidez y sedimentación.

Para este grupo, en el transepto R12 la cobertura fue de 8,6%, en el transepto R15 de 8,5% y en el transepto R18 de 8,9%. Entre las formas más comunes podemos señalar *Aplysina cauliformis, Aplysina fulva, Callyspongia vaginalis, Clathrina primordialis, Ircina campan* y *Xestospongia muta* y el éxito de estas esponjas no están limitada por el oleaje ni la sedimentación.

Gorgóneas

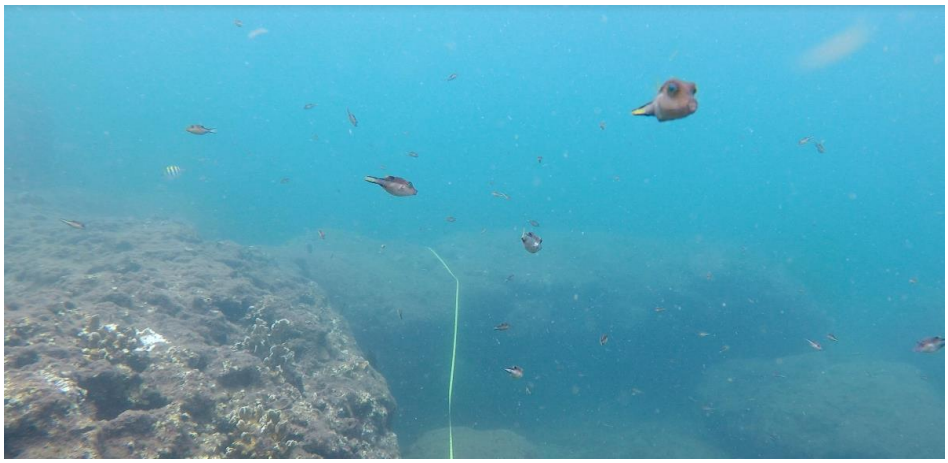
Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron una cobertura para el sitio R12, con 1,2%, para R15 con 2,2% y para R18 con 1,8%. Las especies *Pseudopterogorgia amaericana, Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida* fueron las más representativas.

Zoantidos

Las zoantidos o falsos corales blandos como también se les conoce, representaron en el sitio R12, con 2,2% para R15 con 0,5% y para R18 con 1,1%. Las especies más representativas es *Palytoa caribaerum*.

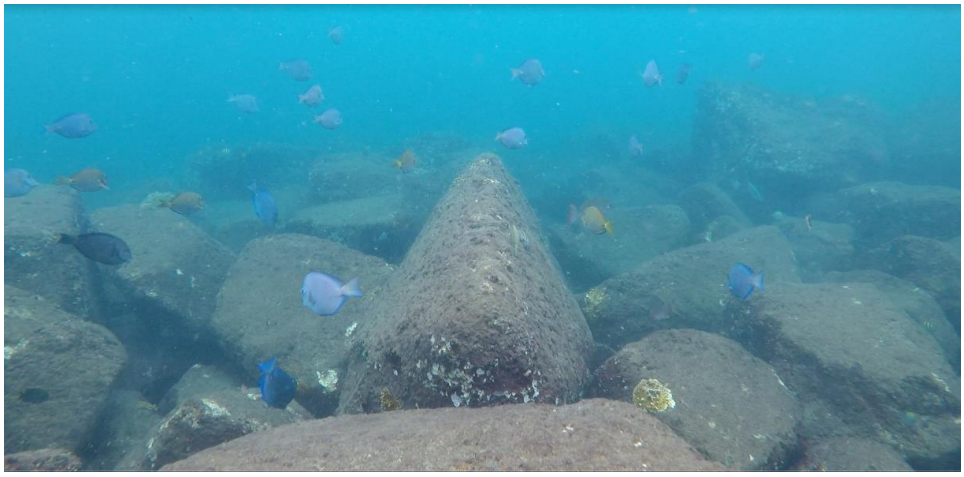
Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como *Spirobranchus giganteus, Panilirus argus* y *Echinometra lucunter* que representan para R12 con 1,2%, para R15 con 1,1% y para R18 con 1,3%.



Vista general del ecosistema de fondos duros someros (R18).

Vista general del ecosistema de fondos duros someros (R15).



Vista general del ecosistema de fondos duros someros (R12).

4.4.3. Zonas próximas a la terminal de carga

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios próximos a la terminal de carga del puerto -T1 y T2-, se resumen en el **Cuadro 15**.

CUADRO 14. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN LAS ZONAS PRÓXIMAS A LA TERMINAL DE CARGA		
GRUPO BIOLÓGICO	**T1**	**T2**
Corales	0	0
Gorgóneas	0	0
Esponjas	0	0
Zoántidos	0	0
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0	0
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	0	0
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	99,1	100
Desconocidos	0,9	0

En estos dos sitios de monitoreo predominan claramente los fondos blandos, formados mayoritariamente (99,1 y 100%) de arena fina a media. No se han observado la presencia de formas de vida en el sedimento, como corales, gorgóneas, esponjas o zoántidos.

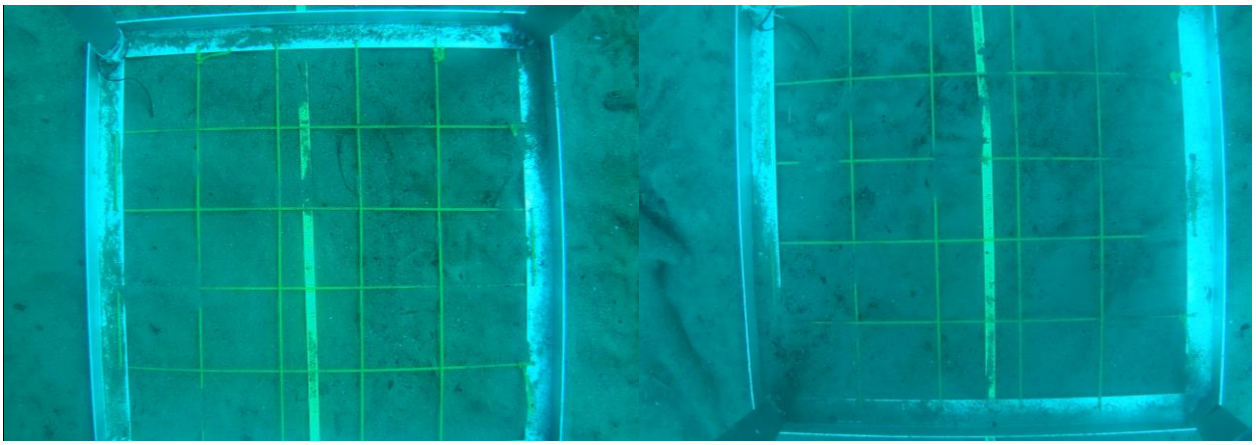


Imagen del fondo en T1

Imagen del fondo en T2

4.4.4. Comparación entre comunidades de fondos duros

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para cada tipo de hábitats, se pueden realizar las siguientes comparaciones entre las comunidades de fondos duros profundos y someros:

- Los porcentajes de cobertura de los transectos de este segundo monitoreo 2020, son semejantes a los registrados en el monitoreo realizado en el monitoreo de octubre de 2019.

- Para encontrar similaridades entre los diferentes sitios de monitoreo teniendo en cuenta las especies registradas, se ha efectuado un análisis multivariante tipo cluster. El análisis cluster es un conjunto de técnicas multivariantes utilizadas para clasificar a un conjunto de muestras en grupos homogéneos. La diferencia con el análisis discriminante reside en que en el análisis cluster los grupos (sitiso de monitoreo) son desconocidos a priori y son precisamente lo que queremos determinar; mientras que en el análisis discriminante, los grupos son conocidos. En el **Gráfico 14** se representa la ordenación jerárquica de los sitios de monitoreo a partir del análisis cluster.

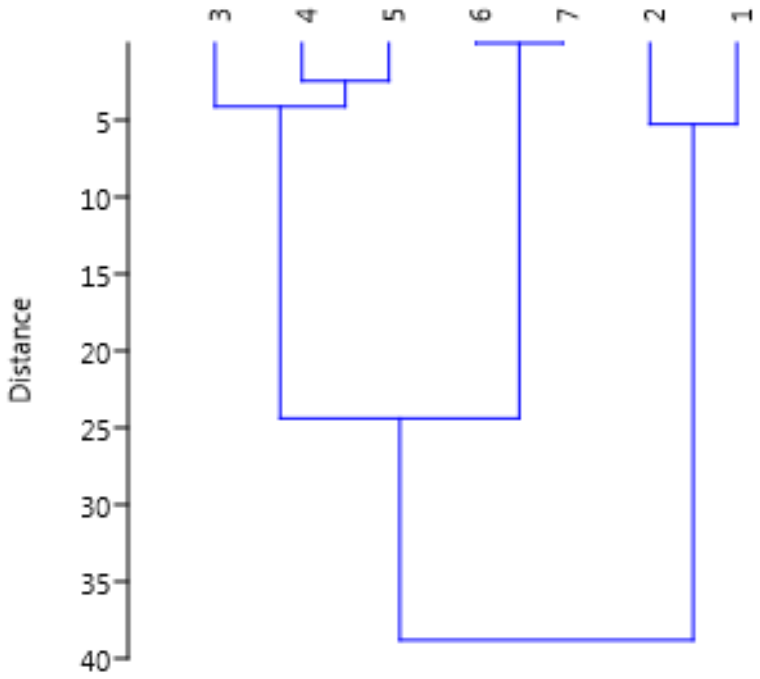


Gráfico 14. Clasificación de los sitios de monitoreo en función de los grupos del bentos marino presentes en cada uno de ellos (1: R3; 2:R33; 3: R12; 4: R15; 5: R18; 6: T1; 7: T2).

- Las comunidades de fondos duros en los dos sitios profundos (R3 y R33) son muy similares, predominando el grupo de las esponjas y seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. En principio, el sitio R3 ha contado con mayor cobertura de especies, pero sin ser una diferencia significativa. Entre los corales predominan *Agaricia agaricites, Agaricia undata, Diplora clivosa y Porites asteroides.*

- Los fondos duros someros (R12, R15 y R18) presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea sidérea, Agaricea undata, Agaricia agaricites y Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. Entre las esponjas se pueden destacar *Aplysina cauliformis, Aplysina fulva, Callyspongia vaginalis, Clathrina primordialis, Ircina campan* y *Xestospongia muta*, no estando limitados por el oleaje ni la sedimentación

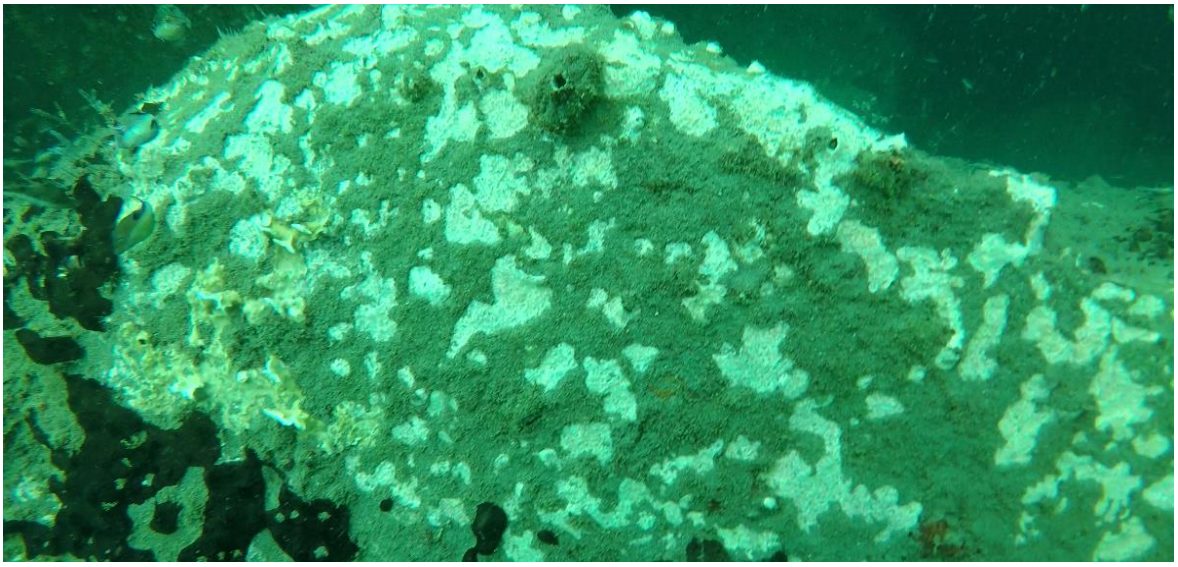
- Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de muestreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaericana, Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida*.

- En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron ligeramente inferior a otros grupos biológicos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transectos algas como *Halimeda tuna, Amphiroa fragilissima, Chondrophycus papillosus, Dictiota mestrualis, Padina pavonica y Galaxaura obtusata*.

- El grupo de las otras formas de vida y los desconocidos conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidias, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus, Echinometra lucunter, y el Crinoideo Nemaster grandis.*

- Los sitios T1 y T2 presentan un sustrato dominado mayoritariamente (>99%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés. Forman claramente un grupo diferente al resto de sitios de monitoreo, aunque con una cierta similitud con los sitios someros por la composición, también alta en éstos (>75%) de arenas y piedras en el sustrato.

Esponjas Aplysina sp



Crecimeno de Coral Fuego (Millepora sp) en fondos someros.

Fondo de algas (Halimeda tuna sp.) con coral (Agaricia sp) y algunas esponjas (Aplysina fulva).

Esponja (Callyspongia vaginalis y Aplysina sp.) con algas (Halimeda tuna).

Esponjas (Verungula rigida).

Esponjas (Amphiroa sp) acompañados de varios corales con predominio del género Agaricia.

4.5. Hábitats de fondos blandos

4.5.1. Introducción

La fauna bentónica de fondos blandos es la comunidad de organismos que vive en estrecha relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos en donde predominan materiales con una alta composición granulométrica en arenas a limos. Comprende una gran diversidad de grupos taxonómicos, destacando los poliquetos, moluscos, crustáceos y equinodermos, cuyas capacidades de natación o ambulación son reducidas o ausentes y su periodo de vida les permite mostrar respuestas a las variaciones ambientales, haciéndolos útiles para evaluar posibles impactos que podrían generar las actividades de origen antropogénico. Es por ello, que la fauna bentónica de fondos blandos es evaluada con interés y así poder comprender la reacción y efecto de la biota marina ante los probables indicios de contaminación o alteración ambiental (Gray, 1981; Levinton 1982).

Con este fin, se procedió al muestreo de los fondos blandos de los diez (10) sitios de muestreo, con la recolección de muestras para el estudio de la composición y abundancia de las especies del bentos marino, así como el estudio de su estructura teniendo en cuenta los principales índices estructurales. En definitiva, se pretende valorar el posible impacto de las operaciones de la mina y el puerto de Punta Rincón sobre estas comunidades.

4.5.2. Composición y abundancia

Se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 15447 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 27 Órdenes y 36 Familias. Con 46 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 29 especies, en menor proporción los Poliquetos con 7 y Crustáceos con 3 taxones (se resumen en el **Cuadro 16).**

CUADRO 16. LISTA TAXONÓMICA DE LOS GRUPOS IDENTIFICADOS EN LA COMUNIDAD BENTÓNICA DE FONDOS BLANDOS			
Phylum	**Clase**	**Orden**	**Familia**
Annelidos	Polychaeta	Eunicida	Onuphidae
Moluscos		Phyllodocida	Glyceridae
		Malelonida	Magelonidae
		Canalipalpata	Sabellidae
		Scolecida	Paraonidae Capitellidae
		Capitellida	Arenicolidae
	Bivalvos	Veneroida	Ungulinidae
	Gasteropodos	Cardiida	Tellinidae
		Venerida	Veneridae
		Mytiloida	Mytilidae
		Neogastropoda	Mangeliidae
			Cancellariidae
			Nassariidae
		Sorbeoconcha	Olivellidae
			Cerithiidae
		Caenogastropoda	Naticidae
			Marginellidae
		Archaeogastropoda	Epitoniidae
		Mesogastropoda	Littorinidae
		Heterobranquios	Pyramidellidae
		Trochida	Tegulidae
			Phasiaellidae
		Neotaenioglossa	Cerithopsidae
		Ellobiida	Ellobioidea
		Lepetellida	Fissurellidae
		Pyramidellida	Pyramidellidae
		Littorinimorpha	Rissoinidae
			Eulimidae
			Triviinae
			Littorinidae
			Cymatidae
		Cephalaspia	Retusidae
			Haminoeidae
	Scaphopoda	Gadilida	Gadilidae
Crustaceos	Malacostrata	Amphipoda	Gammaridae
		Isopodo	
		Cumacea	
3	**5**	**27**	**36**

Los resultados globales de la composición y abundancia (ind/m^2) de las especies y grupos del bentos marino, tanto para las estaciones profundas (R3 y R33 en conjunto), como someras (T1, T2, R12, R15, R18 y Caimito Este) se resumen en el **Cuadro 17**.

CUADRO 17. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (ind/m^2) DE LOS TAXONES DEL BENTOS

TAXÓN	ESTACIONES										
	R-18	E-4	Caimito Este	E-10	T-1	T-2	R-33	R-15	R-3	R-12	Total
Cerithium sp.	286						52	1927		234	**2499**
Epitonium sp.								39			**39**
Anachis sp.				13				221		221	**455**
Nassarius sp.	13						234	91	143	26	**507**
Diplodonta sp.			13	13							**26**
Natica sp.	143			39	52		130	195	65	65	**689**
Tellina sp.	104	39		39	26		39	130		117	**494**
Olivella sp.	13	91	26			117	221	195		208	**871**
Rissoina sp.	65						39	1145	52	130	**1431**
Littorina sp.	26			13				78		26	**143**
Retusa sp.	26		13	13		52	39	221		104	**468**
Persicula sp.				13			325	130	78	130	**676**
Balcis sp.	13						130	221			**364**
Turbonilla sp.	13						39	26	117	65	**260**
Cerithiopsis sp.				13			91	104			**208**
Cadulus sp.							13				**13**
Thiphora sp.				13				52	156	26	**247**
Trivia sp.								26			**26**
Tegula sp.	13			13			143	143	65	26	**403**
Mangelia sp.				13			78	52	39	52	**234**
Fissurella sp.	39			13						52	**104**
Hyalina sp.	26		13							65	**104**

CUADRO 17. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (ind/m^2) DE LOS TAXONES DEL BENTOS

TAXÓN	ESTACIONES									
	R-18	E-4	Caimito Este	E-10	T-1	T-2	R-33	R-15	R-3	R-12	Total
Cymatium sp.								26			**26**
Atys sp.	78							455		65	**598**
Tricolia sp.				26							**26**
Acmaea sp.	130			13		117					**260**
Emarginula sp.	26						143	26			**195**
Prunum sp.	26						52	39		182	**299**
Cancellaria sp.								26			**26**
Brachidontes sp.								13			**13**
Chione sp.										13	**13**
Nerita sp.										13	**13**
Cittorina sp.										13	**13**
Onuphidae		13			468					26	**507**
Glycera sp.	52	52	65		13	104	104				**390**
Mangelona sp.	26						52			221	**299**
Cirratulidae	234				65	52			52		**403**
Capitellidae	13				26					52	**91**
Sabella sp.		13			52	78					**143**
Paraonidae			13		52	221			52		**338**
Arenicola sp.					117	52				13	**182**
Goniadidae						117					**117**
Gammaridae	52	26	104	130	91	39					**442**
Isopodo			39	337		39					**415**
Cumacea		52	13	13							**78**
Anfipodo	65			13	26	91	65		39		**299**

La distribución espacial del número de especies (ver **Gráfico 15**) de los principales taxa permitió evidenciar la dominancia de los moluscos en todas las localidades especialmente en R-12, R-3 y R-15 con (24, 23 y 20 especies). Del análisis de la abundancia acumulativa por localidades monitoreadas se puede señalar que hay tres grupos de acuerdo al número de individuos cuantificados: con un mayor número se registraron las localidades R-15 con 5581 ind/m^2, R-12 con 2145 ind/m^2 y R-33 con 1989 ind/m^2. Las de menor abundancia fueron E-4 con 286 ind/m^2 y Caimito Este con 299 ind/m^2.

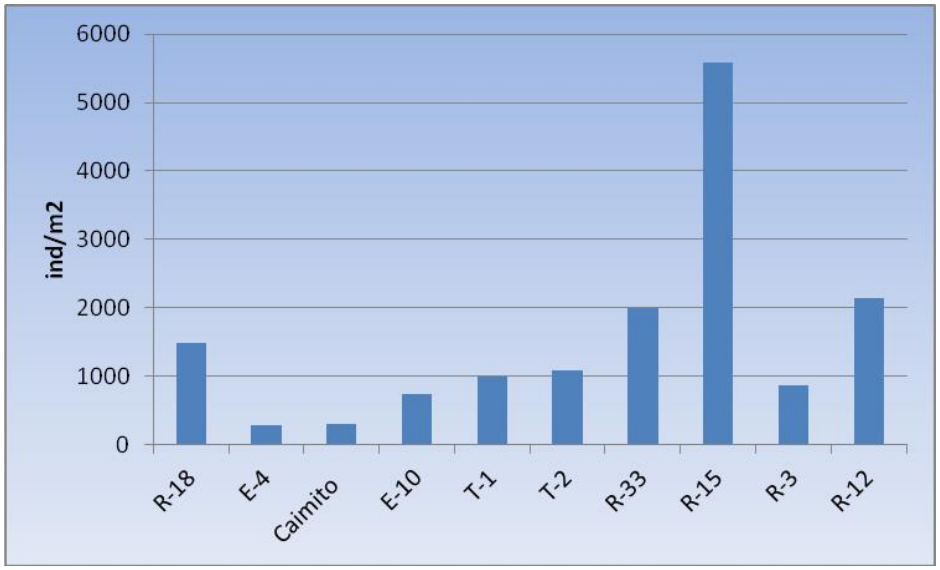


Gráfico 15. Distribución espacial de los principales taxa de la fauna bentónica.

Para encontrar similaridades entre los diferentes sitios de monitoreo teniendo en cuenta las especies del bentos de fondos blandos identificadas en cada uno, se ha efectuado un análisis multivariante tipo cluster (**Gráfico 16**).

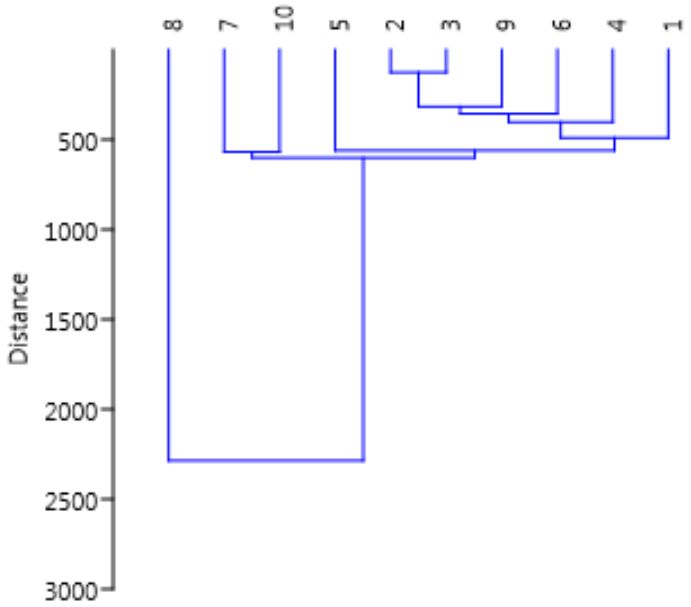


Gráfico 16. Clasificación de los sitios de monitoreo en función de los grupos del bentos blando marino presentes en cada un uno (1: R18; 2:E4; 3: CE; 4: E10; 5: T1; 6: T2; 7: R33; 8: R15; 9: R33; 10: R12).

Teniendo en cuenta el análisis de clasificación, no se han registrado comunidades diferentes en función de la composición del bentos blando. Con excepción del sitio de monitoreo R-15, el resto de sitios presentan una elevada similitud en cuanto a la composición de especies, independiente de la profundidad, tipo de sustrato (muy similar entre ellas) o la composición físico-química del agua y otros elementos oceanográficos (corrientes, marea, etc). El sitio de monitoreo R-15 presenta una mayor densidad de especies (5581 ind/m^2) con respecto al resto de estaciones, con la dominancia de *Ceratium* sp y *Rissoina* sp y en menor medida *Atys* sp.

4.5.3. Estructura de la comunidad

Se muestran en el **Cuadro 18** los resultados de los índices estructurales del bentos marino.

CUADRO 18. INDICES ESTRUCTURALES DE LA COMUNIDAD DEL BENTOS MARINO

INDICES	R-18	E-4	CAIEST	E-10	T-1	T-2	R-33	R-15	R-3	R-12
Taxa_S	23	7	9	18	11	12	19	24	11	25
Individuals	1482	286	299	740	988	1079	1989	5581	858	2145
Dominance_D	0,10	0,20	0,20	0,25	0,26	0,11	0,08	0,18	0,11	0,07
Simpson_1-D	0,90	0,80	0,80	0,75	0,74	0,89	0,92	0,82	0,89	0,93
Shannon_H	2,67	1,76	1,86	2,02	1,81	2,35	2,69	2,28	2,28	2,88
Evenness_e^H/S	0,63	0,83	0,71	0,42	0,56	0,87	0,77	0,41	0,89	0,71
Brillouin	2,63	1,70	1,80	1,96	1,79	2,32	2,66	2,27	2,25	2,84
Menhinick	0,60	0,41	0,52	0,66	0,35	0,37	0,43	0,32	0,38	0,54
Margalef	3,01	1,06	1,40	2,57	1,45	1,58	2,37	2,67	1,48	3,13
Equitability_J	0,85	0,90	0,85	0,70	0,76	0,95	0,91	0,72	0,95	0,89
Chao-1	3,86	1,30	1,75	3,33	1,73	1,89	2,91	3,22	1,78	3,97

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener se mantuvieron en el rango de 1,7-2,8, con una excepción en la que se registraron pocas especies e individuos en E-4. Las mayores diversidades se han dado en los sitios R-12 (2,8 bits), R-33 y R18 (2,6 bits). Con el índice de diversidad de Margalef se obtienen resultados similares, aunque presenta un mayor valor en el R-15, al tener una densidad de especies significativamente más elevada que el resto.

La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las operaciones de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales profundidad y localización geográfica no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras.

Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

PRINCIPALES TAXONES DEL BENTOS MARINO DE FONDOS BLANDOS

PARANOIDAE

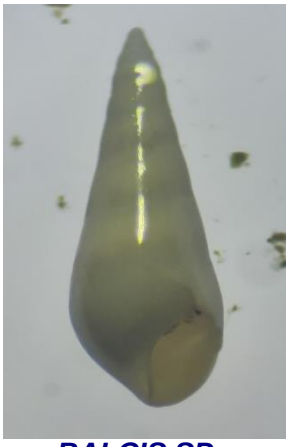
GLYCERA SP.

ONUPHIDAE

CIRRATULIDAE

SABELLA SP

GONIADIDAE

 ANACHIS SP.	 ***CERITHIOPSIS SP***
 ***BALCIS SP.***	 ***OLIVELLA SP.***
 TURBONILLA SP.	 ***NASSARIUS SP***

4.6. Estudio de la comunidad de peces

4.6.1. Introducción

El presente monitoreo marino incluye la actualización de la ictiofauna presente en los fondos duros y arenosos en aguas someras y profundas cercanos a Punta Rincón.

La evaluación continua del estado de la comunidad ictiológica en dichos fondos es de suma importancia, ya que el mismo puede reflejar el estado del ambiente circundante; permitiendo detectar cualquier variación en la composición ictiológica en éste área de estudio asociado a posibles efectos debidos a la operación del puerto y la mina.

El hábitat superficial de fondo duro (al este y oeste) de Punta Rincón inicia en aguas intermareales. Los hábitats de fondo duro al oeste presentan un área de grandes cantos rodados meteorizados que parecen haberse originado del promontorio de Punta Rincón. Las grandes rocas redondeadas y cantos rodados se extienden desde el borde de la playa hasta una profundidad aproximada de 8 m siguiendo un patrón triangular. Este hábitat de fondo duro al este es un área de afloramientos de lecho rocoso combinados con cantos rodados meteorizados. Esta característica se encuentra en aguas superficiales (5 a 8 m) al este de las instalaciones propuestas para el puerto y cubre un área limitada. Entremezclado con esta formación, aparecen manchas de arenales costeros, muy característicos de la costa del Caribe panameño, que representan un hábitat muy importante para las comunidades de peces e invertebrados presentes en estas áreas.

El estudio y censo de las comunidades de peces, tanto en los hábitats de fondos profundos, como de fondos someros más próximos a la costa, se ha centrado en los siguientes objetivos:

- Descripción de la composición cuantitativa y cualitativa de las especies de peces
- Descripción estructural de las comunidades. Diversidad biológica
- Estudio específico del pez león en el área

4.6.2. Composición y abundancia de especies

FONDOS PROFUNDOS

Los fondos profundos (duros y blandos) se ubican aproximadamente a 1 km de la costa frente al área de construcción del puerto, entre 80-96 pies de profundidad y están conformados por fondos duros que se levantan sobre un fondo arenoso que los rodea, hasta unos 15-20 pies. Estas lajas se encuentran tapizadas principalmente por esponjas y algunas especies de algas macroscópicas marinas. La visibilidad de sus aguas durante los buceos fue de 30 a 40 pies.

En el **Cuadro 19** se recoge el censo con la estima de abundancia de las especies de peces registradas en los dos sitios de muestreo (R3 y R33) representativos de fondos profundos.

CUADRO 19. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10^3m^2) DE PECES EN FONDOS PROFUNDOS			
FAMILIA	***ESPECIE***	**R3**	**R33**
Acanthuridae (cirujanos)	*Acanthurus bahianus Castelnau, 1855*	35	20
Carangidae (jureles)	*Carangoides bartholomaei (Cuvier, 1833)*	15	5
	Caranx latus Agassiz, 1831	10	5
Scorpionidae (peces escorpión)	*Pterois volitans (Linnaeus, 1758)*	5	5
Haemulidae (roncador)	*Anisotremus virginicus (Linnaeus, 1758)*	5	10
	Haemulon aurolineatum Cuvier, 1830	10	15
Kyphosidae (chopas)	*Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758)*	15	10
Labridae (labridos)	*Bodianus rufus (Linnaeus, 1758)*	5	10
	Halichoeres bivittatus (Bloch, 1791)	5	15
	Halichoeres radiatus (Linnaeus, 1758)	5	10
	Thalassoma bifasciatum (Bloch, 1791)	0	0
Lutjanidae (pargos)	*Lutjanus cyanopterus (Cuvier, 1828)*	0	10
	Lutjanus mahogoni (Cuvier, 1828)	0	0
	Lutjanus synagris (Linnaeus, 1758)	0	10
Mullidae (salmonete)	*Pseudupeneus plumieri (Bloch, 1786)*	5	0
Pomacanthidae (angeles)	*Pomacanthus paru (Bloch, 1787)*	0	5
Pomacentridae (dama)	*Abudefduf saxatilis (Linnaeus, 1758)*	0	5
	Chromis cyanea (Poey, 1860)	5	0
Scaridae (loros)	*Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788)*	5	0
Serranidae (mero)	*Epinephelus adscensionis (Osbeck, 1765)*	5	0
Sparidae (cabezón)	*Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758)*	10	5
Sphyraenidae (barracuda)	*Sphyraena barracuda (Edwards in Catesby, 1771)*	0	0
Tetraodontidae (tamboril)	*Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786)	16000	18400
TOTAL		**16140**	**18540**

NOTA: se ha mantenido el mismo listado general de especies de otros monitoreos, con el fin de comparar los resultados.

Para los fondos duros profundos evaluados se censó un total de 34680 individuos/10^3m^2 entre R3 y R33, pertenecientes a 21 especies de peces, incluidas en 19 géneros y 16 familias. Todos los peces observados fueros óseos (Osteichthyes). La especie más abundante fue con diferencia *Canthigaster rostrate*, que representa el 99% de la población. En mucha menor medida, el resto de especies con porcentajes muy bajos, destacando *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomaei y Anisotremus virginicus*.

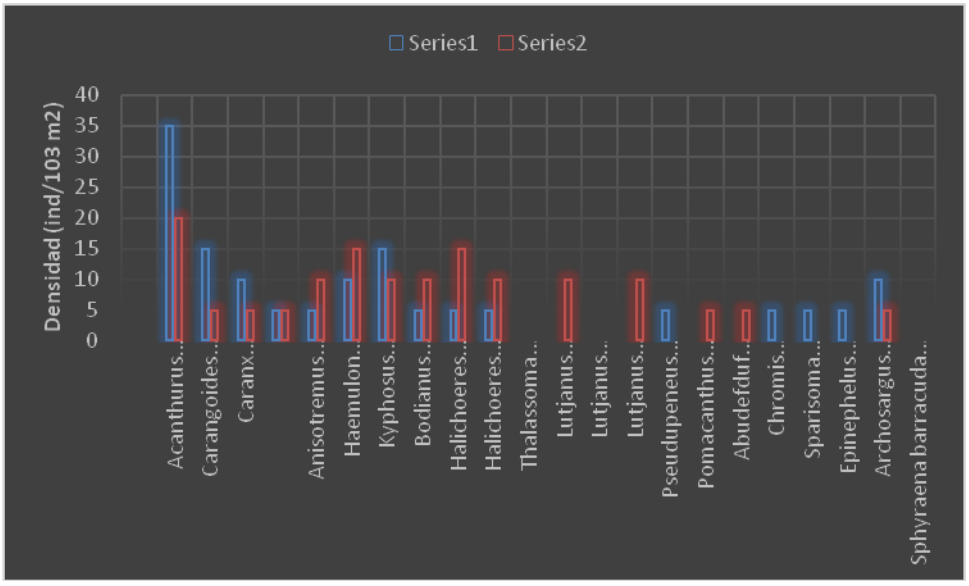


Gráfico 17. Distribución porcentual de las especies ícticas en los fondos profundos sin considerar al tamboril.

Las altísimas densidades del pez tamboril observadas en la presente campaña, coinciden con un fuerte *bloom* de esta especie, fenómeno que se da habitualmente y de forma estacional en estas costas. Seguido a estos blooms, esta especie sufre episodios de mortandad masivos, que son frecuentes en la costa del Caribe panameño y otras costas próximas. No hay información suficiente sobre estos episodios, ni por qué se produce ésta sobre-población o bloom poblacional, ni por qué se producen las mortandades como estrategia de reclutamiento. Se han apuntado varias causas (calentamiento del agua, falta de alimento, parásitos, etc), pero ninguna es concluyente.

FONDOS SOMEROS

Son áreas con una profundidad de 20 a 30 pies aproximadamente y están conformados por arena y piedras de tamaño medio a rocas grandes, tapizadas por diversas formas bentónicas de macroalgas, esponjas, etc.

Este lecho marino está influenciado directamente por el oleaje (debido a su poca profundidad); que se refleja sobre la arena. Adicional a esto, se observa la presencia de vegetación continental sumergida, muy característico en áreas aledañas a los ríos en el Caribe de Panamá (Garrity & Levings, 1993). Esta condición puede ser originada por la descarga del río Caimito, ubicado al Este, debido al patrón dominante de corrientes marinas en el área, logrando exportar, parte de su vegetación, hacia estos fondos. Se observa la presencia de grandes rocas depositadas en el fondo producto de la construcción del rompeolas.

En el **Cuadro 20** se incluye la composición y abundancia de las especies de peces registradas en los sitios de muestreo (T1, T2, R12, R15 y R18) representativos de fondos someros.

CUADRO 20. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10^3 m^2) DE PECES EN FONDOS SOMEROS						
FAMILIAS	***ESPECIES***	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**
Acanthuridae (cirujanos)	*Acanthurus bahianus Castelnau, 1855*	5	5	10	0	5
	Acanthurus coeruleus Bloch & Schneider, 1801	15	5	5	0	0
Carangidae (jureles)	*Carangoides bartholomaei (Cuvier, 1833)*	5	10	5	0	0
	Caranx crysos (Mitchill, 1815)	0	0	0	0	0
Scorpionidae (peces escorpión)	*Pterois volitans (Linnaeus, 1758)*	5	5	5	0	0
Gerreidae (mojarra)	*Eucinostomus melanopterus (Bleeker, 1863)*	0	5	0	0	0
	Gerres cinereus (Walbaum, 1792)	0	5	0	0	0
Haemulidae (roncador)	*Anisotremus virginicus (Linnaeus, 1758)*	0	5	0	0	0
	Haemulon carbonarium Poey, 1860	0	0	0	0	0
	Haemulon flavolineatum (Desmarest, 1823)	5	5	0	0	0
	Haemulon sciurus (Shaw, 1803)	0	5	5	0	0
Holocentridae (ardillas)	*Holocentrus rufus (Walbaum, 1792)*	0	0	0	0	0
Kyphosidae (chopas)	*Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758)*	5	5	0	0	0
Labridae (labridos)	*Bodianus rufus (Linnaeus, 1758)*	5	5	0	5	0
	Halichoeres bivittatus (Bloch, 1791)	5	5	0	0	5
	Halichoeres radiatus (Linnaeus, 1758)	5	0	0	0	0
Lutjanidae (pargos)	*Lutjanus analis (Cuvier, 1828)*	0	5	5	0	0
	Lutjanus apodus (Walbaum, 1792)	0	0	0	0	0
	Lutjanus mahogoni (Cuvier, 1828)	5	0	5	0	0
	Lutjanus synagris (Linnaeus, 1758)	5	5	5	0	0
Pomacanthidae (angeles)	*Holacanthus tricolor (Bloch, 1795)*	5	0	0	0	0
	Pomacanthus paru (Bloch, 1787)	5	5	5	5	0
Pomacentridae (dama)	*Chromis insolata (Cuvier, 1830)*	0	0	5	0	0
	Microspathodon chrysurus (Cuvier, 1830)	5	5	0	0	0
	Stegastes diencaeus (Jordan & Rutter, 1897)	0	0	0	0	0

CUADRO 20. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10^3 m^2) DE PECES EN FONDOS SOMEROS						
FAMILIAS	***ESPECIES***	**R12**	**R15**	**R18**	**T1**	**T2**
	Stegastes partitus (Poey, 1868)	0	0	0	0	0
	Stegastes variabilis (Castelnau, 1855)	0	5	5	0	4
Scaridae (loros)	*Scarus guacamaia Cuvier, 1829*	0	5	5	0	0
	Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788)	0	0	5	0	0
Serranidae (mero)	*Epinephelus adscensionis (Osbeck, 1765)*	5	0	5	0	0
Sparidae (cabezón)	*Calamus penna (Valenciennes, 1830)*	0	5	5	0	0
Sphyraenidae (Barracuda)	*Sphyraena barracuda (Edwards in Catesby, 1771)*	0	0	0	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	*Diodon hystrix Linnaeus, 1758*	5	5	0	0	0
	Canthigaster rostrata (Bloch, 1786)	12000	16800	14400	15	30

En los fondos duros someros, se registraron un total de 43549 individuos/10^3 m^2; pertenecientes a 26 especies, distribuidas en 25 géneros y 16 familias. Todos los peces observados fueros óseos (Osteichthyes).

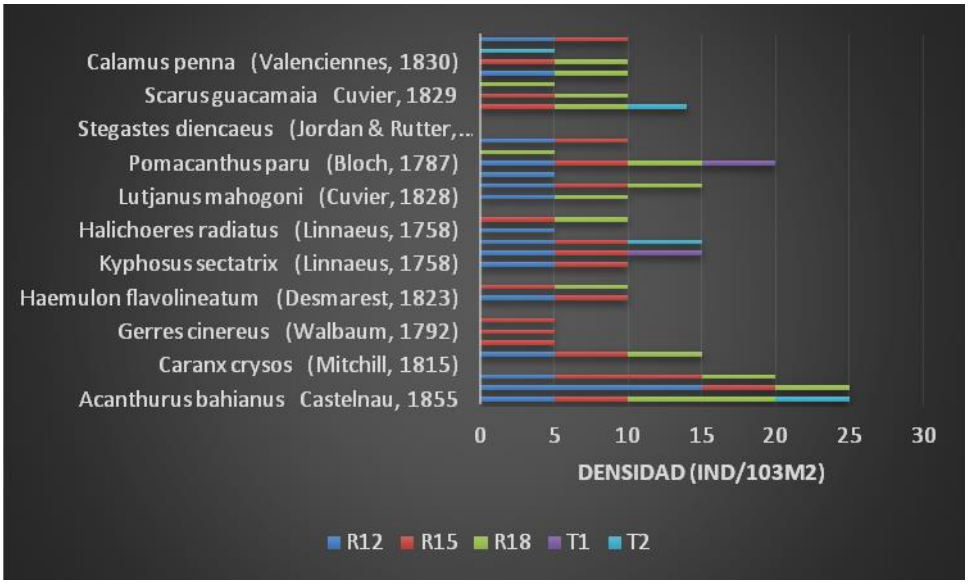


Gráfico 18. Distribución porcentual de las principales familias de peces en fondos someros sin tamboril.

También en estos monitoreos, la especie más abundantes observada fue *Canthigaster rostrate* con un 99% de dominancia para R12, R15 y R18 y un 60-61% para T1 y T2. También se han registrado *Carangoides bartholomaei* y *Acanthurus bahianus* (<1%). La mayor abundancia de tamboril en los sitios R12, R15 y R18 está asociada con la disponibilidad de alimento y refugio, ya que cuentan con hábitats adecuados, en los que aparecen una elevada diversidad de cornisas y pequeñas cuevas en las grandes rocas, fisuras en las plataformas rocosas, fondos de arena y algas, etc., por lo que además de a esta especie, puede albergar una comunidad rica y diversa de especies características de estos fondos en el Caribe. Por su parte, los sitios T1 y T2 no cuentan con refugios y buena disponibilidad de alimento, y tienen una mayor velocidad de la corriente de agua, lo que hace poco atractivo estos hábitats para el desarrollo íctico.

4.6.3. Análisis estructural de las comunidades

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que estiman la estructura poblacional. El **Cuadro 21** muestra los valores obtenidos para los peces asociados a los fondos duros profundos (R33 y R3) y someros (R12, R15, R18, T1 y T2) sin considerar al tamboril.

CUADRO 21. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIADDES. INDICES DE DIVERSIDAD

INDICES	R3	R33	R12	R15	R18	T1	T2
Taxa_S	15	15	15	19	15	2	4
Individuals	140	140	85	100	80	10	19
Dominance_D	0,11	0,08	0,08	0,06	0,07	0,50	0,25
Simpson_1-D	0,89	0,92	0,92	0,95	0,93	0,50	0,75
Shannon_H	2,46	2,60	2,64	2,93	2,69	0,69	1,38
Evenness_e^H/S	0,78	0,90	0,93	0,98	0,98	1,00	1,00
Brillouin	2,28	2,41	2,36	2,63	2,39	0,55	1,15
Menhinick	1,27	1,27	1,63	1,90	1,68	0,63	0,92
Margalef	2,83	2,83	3,15	3,91	3,20	0,43	1,02
Equitability_J	0,91	0,96	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00

La disminución de la riqueza (nº especies e individuos), así como de la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Por su parte, hacia las aguas más profundas, aparecen especies de mayor tamaño, pero con menor diversidad y número de individuos, pues en estas áreas se registran principalmente especies adultas. Tanto el número como la variabilidad de especies observadas en las aguas profundas fueron más bajas que las observadas en los fondos duros someros. A partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que lo registrado en este monitoreo representa el estado

actual y normal de las poblaciones de peces de los fondos duros profundos; ya que en dichos lugares no se ha desarrollado una sobrepesca que pudiera afectarlos, como lo que ha ocurrido en otras áreas del Caribe de Panamá (Jácome, 2001).

Teniendo en cuenta estos resultados, los peces registraron una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio. Por lo que podemos inferir, que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de operación/construcción de la mina o del puerto.

4.6.4. Pez león

En el **Cuadro 22** se resumen, para los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 las observaciones de pez león (*Pterois volitans*) en ind/10^2 m^2 para los transectos evaluados en el fondo somero (R12, R15 y R18) y fondo profundo (R3 y R33) en donde se realiza su seguimiento.

CUADRO 22. DENSIDADES (IND/10^2 M^2) DE PEZ LEÓN EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO

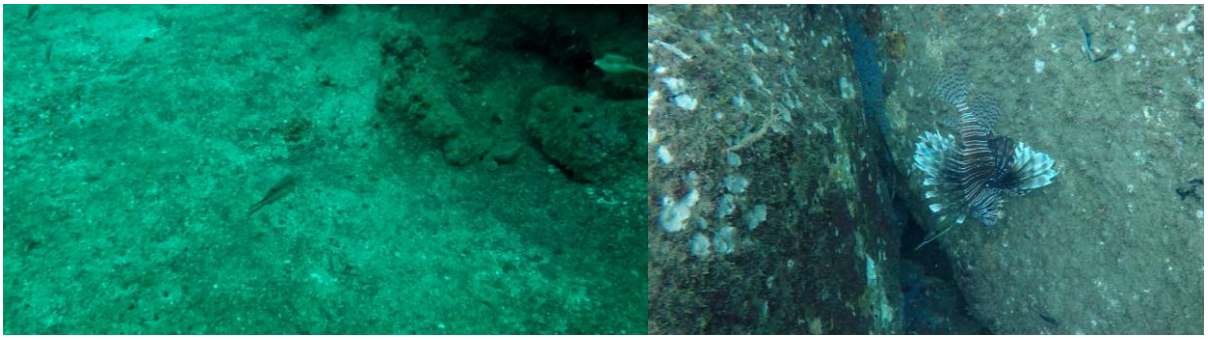
AÑO	R3	R33	% Total	R12	R15	R18	% Total
2020-2S	5	5	3,1-3,2	5	5	5	4,5-5,6
2019-2S	5	5	2,6-3,0	0	0	5	0-4,2
2019-1S	10	10	5-7,4	10	0	0	0-4,7
2018-2S	10	15	5-6	10	20	5	0,8-3,3
2018-1S	20	20	3,2	15	25	5	5,3
2017	15	20	3,0	15	6	5	0,83
2016	20	10	7,6	40	25	20	9,3

La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 4,5-5,6% para el fondo somero y de 3,1-3,2% para el fondo profundo. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).

Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá. Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010). Debido a su impacto, se recomienda desarrollar un plan para el control de las poblaciones de esta especie en las áreas cercanas al proyecto de Minera Panamá.

Presencia lábridos en todos los tipos de fondos.

Ejemplares de la familia Pomacanthidae.



Canthigaster rostrate (foto izquieda) y pez león.

Rica comunidad íctica en el sitio R33.

Carangidae en fondos profundos.

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS

El objetivo de este estudio específico es realizar la caracterización de las comunidades biológicas de fondos duros y peces, así como la toma de muestras de agua en el rompeolas que se ha construido para el puerto de Punta Rincón.

El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompeolas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales. De ser así, estos nuevos hábitats contribuirán a una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas en la zona de afección del puerto.

5.1. Calidad de aguas

Para el estudio de calidad de aguas, se tomaron muestras de agua en dos sitios de monitoreo, uno en la parte interna del rompe olas (RO4) o puerto de abrigo y otra en la parte externa del mismo (RO2).

En el **Anexo 2** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis de laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025 de todos los análisis realizados en agua marina del rompeolas y que son los mismos a los completados para el estudio marino-costero. En el **Cuadro 23** se resumen los resultados y el grado de cumplimiento de la norma legal empleada.

CUADRO 23. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA DEL ROMPEOLAS

PARÁMETRO	UNIDAD	R04 (interior rompe olas)	R02 (exterior rompe olas)
TDS	mg/L	30.400,00	30.750,0
TSS	mg/L	130	140
DBO	mg/L	<3	<3
COD	mg/L	1,1	1,0
Nitrato NO3	mg/L	0,30	0,32
Nitrito NO2	mg/L	0,010	0,010
Amonio NH4	mg/L	<0,01	<0,01
N total	mg/L	0,1	0,2
Fosfatos PO4	mg/L	<0,4	<0,4
Sulfatos SO4	mg/L	3600,00	3400,00
Cloruros Cl	mg/L	11.300,0	11.250,0
Magnesio	mg/L	1200	1300
Calcio	mg/L	410	360
Potasio	mg/L	510	590
Sodio	mg/L	9460	9600

CUADRO 23. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA DEL ROMPEOLAS			
PARÁMETRO	**UNIDAD**	**R04 (interior rompe olas)**	**R02 (exterior rompe olas)**
Fluoruro	mg/L	1,10	1,15
Aceites y G	mg/L	<5	<5
Aluminio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Antimonio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Antomonio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Arsénico dis	mg/L	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/L	<0,001	<0,001
Bario dis	mg/L	<0,001	<0,001
Bario tot	mg/L	<0,001	<0,001
Berilio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Berilio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Boro dis	mg/L	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cadmio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cinc dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/L	<0,001	<0,001
Hierro dis	mg/L	<0,001	<0,001
Hierro tot	mg/L	<0,001	<0,001
Manganeso dis	mg/L	<0,001	<0,001
Manganeso tot	mg/L	<0,001	<0,001
Mercurio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Molibdeno dis	mg/L	<0,001	<0,001
Molibdeno tot	mg/L	<0,001	<0,001

CUADRO 23. RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA MARINA DEL ROMPEOLAS			
PARÁMETRO	**UNIDAD**	**R04 (interior rompe olas)**	**R02 (exterior rompe olas)**
Níquel dis	mg/L	<0,001	<0,001
Níquel tot	mg/L	<0,001	<0,001
Plata dis	mg/L	<0,001	<0,001
Plata tot	mg/L	<0,001	<0,001
Plomo dis	mg/L	<0,001	<0,001
Plomo tot	mg/L	<0,001	<0,001
Selenio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Vanadio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cianuro	mg/L	<0,10	<0,10

En relación a los resultados de calidad de aguas obtenidos, se destacan los siguientes puntos:

- Los puntos de muestreo RO4 y RO2 presentan concentraciones en los parámetros analizados muy similares. Son propios de aguas marinas del litoral caibeño, en donde no se aprecian efectos de la posible contaminación u otro tipo de efectos asociado con la operación del puerto.

- En ningún caso, las concentraciones de los parámetros analizados indican contaminación de origen antrópico.

Trabajos de monitoreo en el rompeolas del puerto de Punta Rincón.

5.2. Estudio de fondos duros

Los resultados de cobertura (%) de las diferentes formaciones biológicas que colonizan el rompeolas se recoge en el **Cuadro 24**.

CUADRO 24. COBERTURA (%) DE LOS GRUPOS BIOLÓGICOS EN EL ROMPEOLAS

GRUPOS BIOLÓGICOS	RO1	RO2	RO3	RO7	RO4	RO5	RO6
Corales	0,3	2,6	8,8	5,4	0,3	0,00	0.00
Gorgóneas	0,00	0.00	0,4	0,00	0,00	0,00	0,00
Esponjas	0,00	0.00	2,2	0,00	0,00	0,00	0,00
Zoántidos	0,00	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
Macroalgas	0,00	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otras formas de vida	0,3	1,3	3,5	3,0	0,00	0,00	0,00
Coral con algas muertas	0,00	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
Algas coralinas	0,6	1,2	1,6	3,2	0,00	0,00	0,00
Corales enfermos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Piedras	96,9	91,7	81,4	86,2	99,7	100.00	100.00
Desconocidos	1,9	3,2	2,1	2,2	0,00	0,00	0,00

Las variaciones son ligeramente positivas, con un aumento paulatino de las coberturas de las principales formaciones (corales, esponjas, etc) del orden de 0,05-0,1% cada año.

Corales

El sitio de muestreo RO3 presenta la mayor cobertura de corales con 8,8%, seguido del RO7 con un 5,4% y el RO2 con un 2,6%, los tres pertenecientes a los sitios externos y más expuestos a mar abierto. En los sitios internos -RO4, RO5 y RO6- se han registrado colonias de coral, aunque con formaciones muy iniciales en primeras fases de colonización y de pequeño tamaño.

Los corales formados aparecen solo en la parte más externa del rompeolas, y están representados por colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Están mayoritariamente representados por especies pioneras, como *Agaricia agaricites* y el hidrocoral llamado coral fuego *Millepora complanata,* este último el más representativo de este tipo de fondos rocosos.

En relación a otros monitoreos, se aprecia una tendencia clara a la colonización, especialmente en las piedras más expuestas al sol y cercanas a la superficie.

Algas

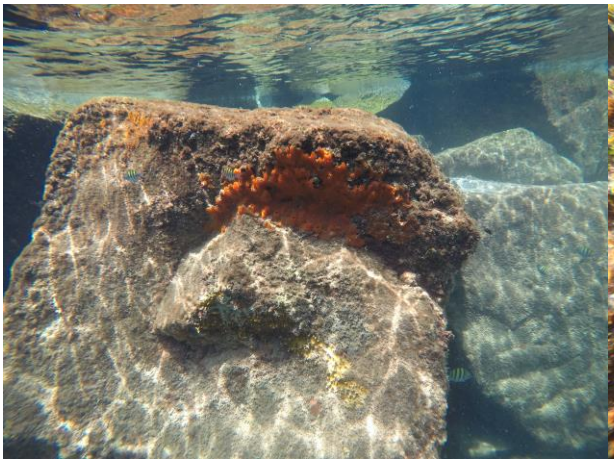
No se registraron algas o formas coralinas presentes en este tipo de estructuras en ninguno de los transectos.

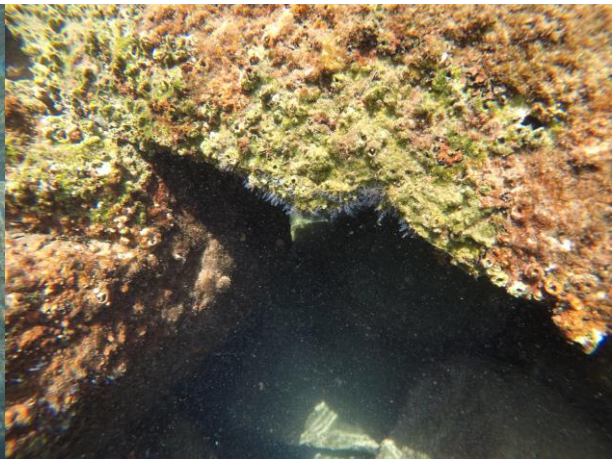
Esponjas

Las esponjas tampoco fueron las más prosperas en cuanto a crecimiento y colonización de esta estructura; solo el transepto RO3 presento una cobertura de 2,2% de la especie *Cliona sp*., el resto no presentó cobertura alguna.

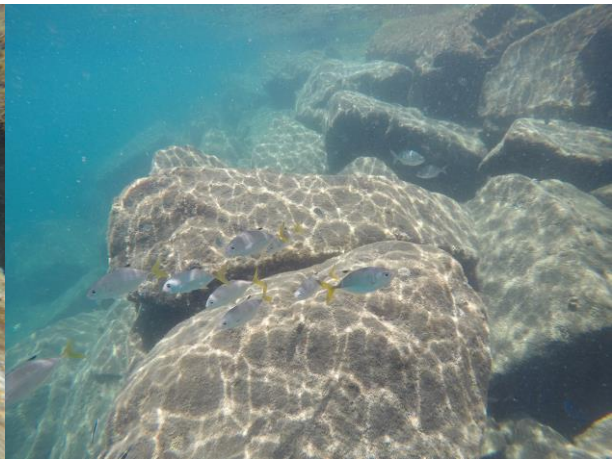
Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como cangrejos, moluscos incrustantes en las rocas como ostiones crustáceos, *Balaunus* sp con muy bajas proporciones. En los sitios de muestreo situados en el interior del rompe olas no se registraron presencia de estos grupos.





Esponjas en primeras fases de colonización (Cliona sp). *Algas verdes inician las primeras fases de colonización.*



Primeras fase de colonización por coral. *Zonas en las que todavía no se ha iniciado la colonización.*

5.3. Estudio de la comunidad de peces

Para el estudio de las comunidades de peces (composición, abundancia y diversidad de especies de peces) en el rompeolas, se siguieron dos tipos de transectos o secciones principales, uno en la zona externa entre los sitios (RO1, RO2, RO3 y RO7) y otro en la parte interna entre los sitios (RO4, RO5 y RO6). Los resultados obtenidos de composición y densidad estimada (ind/10^3 m^2) de peces en estos transectos se resumen en el **Cuadro 25**.

CUADRO 25. DENSIDAD DE PECES EN EL ROMPEOLAS

FAMILIA	ESPECIE	Externo	Interno
Acanthuridae (cirujanos)	*Acanthurus bahianus Castelnau, 1855*	10	5
	Acanthurus chirurgus (Bloch, 1787)	5	5
Carangidae (jureles)	*Carangoides bartholomaei (Cuvier, 1833)*	5	5
Scorpionidae (peces escorpión)	*Pterois volitans (Linnaeus, 1758)*	5	10
Haemulidae (roncador)	*Anisotremus virginicus (Linnaeus, 1758)*	0	10
Kyphosidae (chopas)	*Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758)*	5	5
Labridae (labridos)	*Halichoeres chierchiae*	0	5
	Thalassoma bifasciatum (Bloch, 1791)	5	5
Lutjanidae (pargos)	*Lutjanus synagris (Linnaeus, 1758)*	0	5
Pomacanthidae (angeles)	*Pomacanthus paru (Bloch, 1787)*	0	5
Pomacentridae (dama)	*Stegastes variabilis (Castelnau, 1855)*	5	5
	Microspathodon chrysurus (Cuvier, 1830)	5	0
Scaridae (loros)	*Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788)*	5	5
Sparidae (cabezón)	*Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758)*	5	5
Sphyraenidae (Barracuda)	*Sphyraena barracuda (Edwards in Casteby, 1171)*	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	*Canthigaster rostrata* (Bloch, 1786)	18400	15200
Dasyatidae	*Hypanus americanus (Hildebrand & Schroeder, 1928)*	0	5
TOTAL		18455	15285

De esta forma, para el rompeolas se censó un total de 180 individuos, pertenecientes a 19 especies de peces, incluidos en 18 géneros y 13 familias. De estas especies, 11 fueron observadas asociadas al transepto externo del rompeolas y 16 especies asociadas en la parte interna del mismo. De todos los peces observados únicamente se registra un pez cartilaginoso (*Chondrichthyes*), el resto fueron óseos (*Osteichthyes*). En el **Gráfico 19** se representa la distribución porcentual de las especies, tanto en la parte externa, como interna del rompe olas.

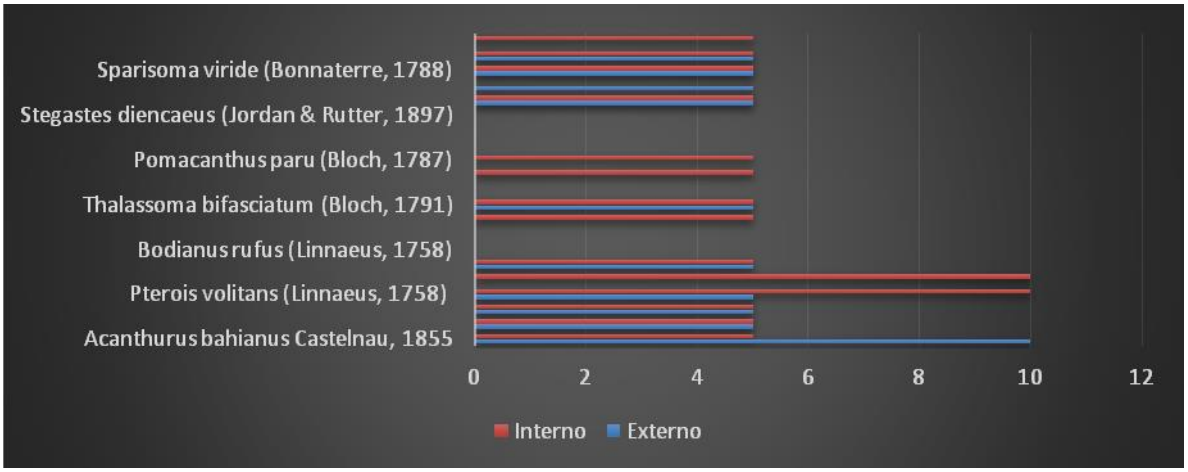


Gráfico 19. Distribución porcentual de las principales especies de peces en los transectos externos e internos del rompeolas sin considerar al tamboril ya que los valores son muy elevados y se perdería la escala.

Tal y como sucede en toda el área marina de Punta Rincón, la especie más abundante observada fue *Canthigaster rostrate* (99%) debido a la coincidencia de los monitoreos con el bloom de esta especie ya comentado con anterioridad. Otras especies presentes han sido *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomei, Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758), Stegastes variabilis (Castelnau, 1855), Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788) y Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758),* todas con porcentajes muy bajos debido a la fuerte dominancia del tamboril.

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó principalmente el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que dan una idea de la estructura de la comunidad. El índice Shannon-Weaver expresa la abundancia relativa con que cada especie contribuye en la comunidad. En el **Cuadro 26** se resumen estos índices sin incluir el tamboril.

CUADRO 26. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES. INDICES DE DIVERSIDAD

ESTACIONES	TRANSEPTO	Diversidad Shannon (H')	Dominancia (D)	Simpson (1-D)	Margalef	Equitabilidad (J)
Externas	RO1, RO2, RO3 y RO7	2,3	0,11	0,88	2,35	0,96
Internas	RO4, RO5 y RO6	2,5	0,09	0,90	3,19	0,83

Se aprecia diferencia entre los índices de la parte externa de la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transectos del interior del rompeolas y no expuestos a mar abierto. La comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de gran valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

Para el pez león, se observa su presencia tanto en la parte externa, como interna del rompeolas, aunque con una mayor tendencia a aparecer en el exterior y en las zonas más expuestas a mar abierto. Se han registrado desviaciones con respecto al año 2016, en la que no se registró ningún ejemplar en la parte interna del rompeolas.

Los peces registrados muestran una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio, por lo que se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos, someros y rompeolas favorecen el establecimiento de la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde desempeñan un rol ecológico fundamental en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. Adicional a esto, de las especies observadas, se puede indicar que coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, donde la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Se destaca el aporte significativo -desde el punto de vista ecológico- que representa el rompeolas, al permitir el establecimiento y hábitat agregador de las diferentes especies de peces que utilizan este sitio como zonas de refugio, alimentación y reproducción como parte de su ciclo de vida. Esta colonización está ligada a la que se ha observado en las comunidades del bentos duro en las piedras del rompeolas, con una clara colonización en las zonas expuestas y más superficiales.

El monitoreo he coincidido con el blomm del tamboril (Canthigaster rostrate), con densidades muy elevadas tanto en la parte externa, como interna del rompeolas.

6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE

Durante el monitoreo del mes de octubre del año 2020, se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior.

Foto del intake y foto submarina con el detalle de las rejas en la zona del Puerto en Punta Rincón.

El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Desde el punto de vista metodológico, con una bomba sumergible se bombeó durante dos muestreos (IN-1 e IN-2) durante 10 min un volumen conocido de agua a través de una red tipo bongo de 500 micras.

Realización de muestreos con bomba en el intake para el estudio del fitoplancton.

Para el cálculo del volumen filtrado, se empleó la siguiente fórmula:

$$VF\ (m^3) = \text{Caudal bomba}\ (m^3/s) \times \text{tiempo bombeo}\ (s)$$

Una vez analizada las muestras, los valores independientes de larvas y huevos se estandarizaron a un volumen de 10 m^2 de superficie marina teniendo en cuenta la distancia de arrastre y de acuerdo con las recomendaciones de Smith y Richardson (1978).

Los resultados obtenidos se incluyen en el **Cuadro 27**.

CUADRO 27. DENSIDAD DE HUEVOS Y LARVAS DE PECES (N/ 10M^2) EN EL INTAKE

CÓDIGO MUESTRA	HUEVOS Ind/m^3	LARVAS Ind/m^3	COMPOSICIÓN DE PRINCIPALES ESPECIES EN LAS LARVAS
IN-1	25	32	*Acanthurus bahianus* (20,6%), *Carangoides bartolomaei* (36,7%), *Lutjanus synagris y Anisotremus virginicus (<10%)*.
IN-2	10	21	*Acanthurus bahianus* (24,7%), *Carangoides bartolomaei* (20,1%), *Anisotremus virginicus, Acanthurus chirurgus y Pomacanthus paru (<10%)*.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (10-25 ind/m^3 para huevos y 21-32 ind/m^3 para larvas), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m^3 para huevos y de 30-50 ind/m^3 para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 20-24%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales.

En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)[4] en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m^3 y 9,08 larvas/m^3 succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta. En este trabajo se concluyó que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto, resultan ser insignificantes,

En el caso de la toma en Punta Rincón, al ser menores las densidades de larvas y huevos captados por el intake, al mismo tiempo que el volumen de agua que se capta, el impacto sobre estos componentes de la biocenosis íctica también resulta ser insignificantes

4 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.

7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas marino-costeros a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 28.**

CUADRO 28. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS

SUBCOMPONENTE DEL PROGRAMA	INDICADOR	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INFORMES	PERIDO DE TOMA DE DATOS
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies del bentos marino.	Semestral	Semestral	septiembre-octubre-
	Índice de diversidad del bentos marino	Semestral	Semestral	Octubre-septiembre
	Densidad y riqueza de especies de peces	Semestral	Semestral	Octubre-septiembre
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos.	Anual	Anual	Octubre-septiembre
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés es son los metales pesados.	Anual	Anual	Octubre-septiembre

Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y línea de base del año 2015, monitoreos 2016 y 2017, los dos monitoreos semestrales del año 2019[5] y el monitoreo del presente año 2020.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 29**.

CUADRO 29. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES

SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 30.**

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base de los años 2015, 2016, 2017, 2018-1S, 2018-2S, 2019-1S, 2019-2S y segundo semestre de 2020 indican variaciones poco significativas entre los mismos.

Las pequeñas variaciones registradas entre los dos monitoreos están más relacionadas con el sesgo asociado a este tipo de muestreo (errores aleatorios y sistemáticos relacionados con las técnicas de muestreo, época de estudio y condiciones ambientales y oceanográficas) que con los posibles efectos derivados de la operación del puerto y de la mina.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de operaciónde la mina y el puerto.

[5] La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.

CUADRO 30. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2020

INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	R3	R33	R12	R15	R18	CE	T1	T2
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→		
	2016	→	→	→	→	→	→		
	2017	→	→	→	→	→	→		
	2018-1er Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2018-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019-1er Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 2 (Indices del bentos)	2015	→	→	→	→	→	→		
	2016	→	→	→	→	→	→		
	2017	→	→	→	→	→	→		
	2018-1er Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2018-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019-1er Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2015	→	→	→	→	→	(1)		
	2016	→	→	→	→	→	(1)		
	2017	→	→	→	→	→	(1)		

CUADRO 30. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2020									
	2018-1er Semestre	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2018-2° Semestre	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2019-1er Semestre	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2019-2° Semestre	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2020-2° Semestre	→	→	→	→	→	→	→	→

NOTAS: (1). En este sitio de muestreo no se realizan estudios de peces.

8. ESTADO ECOLÓGICO

8.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas asociados a las aguas marinas.

Para evaluar el estado ecológico de un agua marina se emplean los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han produjo cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (número de especies, diversidad, etc) o de la concentración de determinados compuestos químicos, para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente el impacto ambiental de las actividades humanas.

8.2. Metodología

8.2.1. Valoración del estado de calidad biológico

Para evaluar la calidad biológica del medio marino, se ha seleccionado el grupo del bentos marino y, para este grupo, se ha utilizado el programa AMBI que calcula el BC o Indice Biótico Marino de Azti. Este índice, desarrollado en el año 2000 por el Centro Tecnológico AZTI-Tecnalia, y que ya ha tenido varias actualizaciones, está basado en paradigmas ecológicos que permiten establecer la calidad ecológica de las costas y estuarios a través de la asignación de las especies de los fondos marinos a uno de los cinco grupos ecológicos.

Incorpora un análisis multi-variante (M-AMBI) para el cálculo del estado ecológico en el medio marino para el índice IB. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades del bentos a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Además de calcular el BC e IB, este programa representa gráficamente los datos y exporta los resultados. AMBI incluye más de 6.500 taxa representativos de las comunidades más importantes presentes en los estuarios y sistemas costeros de Europa, desde el Mar del Norte al Mediterráneo, e incluso de Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica y sudeste asiático.

Esta clasificación se basa en la sensibilidad del bentos marino a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos:

- Grupo I: Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y que se encuentran presentes en condiciones de ausencia de contaminación. Incluyen especies carnívoras especialistas y algunos Poliquetos tubícolas detritívoros (estado ecológico inicial).

- Grupo II: Especies a las que no les afecta en gran medida el enriquecimiento orgánico, siempre están presentes en bajas densidades sin variaciones significativas en el tiempo (desde el estado inicial a levemente desequilibrado).

- Grupo III: Especies tolerantes al exceso de materia orgánica. Estas especies pueden aparecer en condiciones normales, pero sus poblaciones aumentan con el enriquecimiento orgánico (circunstancias ambientales levemente desequilibradas). En estos ambientes abundan las especies detritívoras y Poliquetos de la familia Spionidae.

- Grupo IV: Especies oportunistas de segundo orden que aparecen en ambientes con episodios de contaminación importantes. Principalmente son Poliquetos de pequeño tamaño y depositívoros subsuperficiales como los Cirratúlidos.

- Grupo V: En áreas con pronunciados desequilibrios, contaminación elevada, suelen encontrarse especies oportunistas de segundo orden. Organismos detritívoros, que proliferan en sedimentos reducidos.

La distribución de los individuos clasificados, de acuerdo a su tolerancia al grado de contaminación (grupos ecológicos), permite calcular el índice BI con ocho niveles, de 0 a 7. Para establecer los límites de estos ocho niveles, se utiliza un coeficiente biótico BC basado en los porcentajes de cada uno de los cinco grupos ecológicos definidos anteriormente, aplicando la siguiente fórmula:

$$BC = \frac{\{(0 \cdot \%\,GI) + (1.5 \cdot \%\,GII) + (3 \cdot \%\,GIII) + (4.5 \cdot \%\,GIV) + (6 \cdot \%\,GV)\}}{100}$$

Este coeficiente calcula un resultado continuo con valores comprendidos entre 0 y 6. Los intervalos establecidos según BORJA et al. (2000) para delimitar el valor continuo que resulta del cálculo del coeficiente biótico (BC) que constituye el índice AMBI se resumen en el **Cuadro 31** adjunto.

CUADRO 31. SIGNIFICADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y ECOLÓGICA BC Y BI (Borja et al, 2000)				
GRADO DE CONTAMINACIÓN	**COEFICIENTE BIÓTICO (BC)**	**ÍNDICE BIÓTICO (BI)**	**GRUPO ECOLÓGICO DOMINANTE**	**ESTADO DE LA COMUNDIAD BENTÓNICA**
No contaminado	0,0<BC≤0,02	0	I	Normal
No contaminado	0,2<BC≤1,2	1		Empobrecida
Ligeramente contaminado	1,2<BC≤3,3	2	III	Desequilibrada
Medianamente contaminado	3,3<BC≤4,5	3		Estado de transición hacia contaminada
Medianamente contaminado	4,5<BC≤5,0	4	IV-V	Contaminada
Fuertmente contaminado	5,0<BC≤5,5	5		Estado de transición hacia muy contaminada
Fuertemente contaminado	5,5<BC≤6,0	6	V	Muy contaminada
Extremadamente contaminado	Azoico	7	Azoico	Azoico

8.2.2. Valoración del estado de calidad fisico-químico del agua y sedimento

Para valorar el estado de calidad de los parámetros físico-químicos en aguas y sedimento marinos se han comparado los resultados obtenidos en los diferentes parámetros de calidad de aguas con los límites legales que establece la normativa vigente en Panamá (Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008):

Cumple con los límites legales: ESTADO BUENO
No Cumple con los límites legales: ESTADO MALO

Con objeto de estudiar el grado de contaminación de los sedimentos (metales pesados) se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME). Así, se ha valorado el estado de calidad por comparación con los valores de referencia anteriores, al no existir en Panamá límites para metales pesados en sedimentos en aguas marinas.

Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO BUENO
No Cumple con los valorse de referencia canadiense: ESTADO MALO

El estado de calidad MUY BUENO se alcanzaría solamente si los valores obtenidos para esas variables se encuentran por debajo de las concentaciones consideradas como fondo para aguas y sedimentos de zonas marinas similares.

8.2.3. Valoración del estado ecológico marino-costero

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los elementos biológicos (bentos) y físico-químicos (agua y sedimento), para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los sitios de muestreo con todos los elementos en conjunto, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

De acuerdo con esta metodología, las aguas marino-costeras se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo.

Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos (ver **Figura 1**). En este caso, no se aplican los indicadores hidromorfológicos.

Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado[6]. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En el apartado biológico, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de bentos marino al ser los más representativos e integradores de los posible efectos de la mina y el puerto. Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

[6] Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME)”.

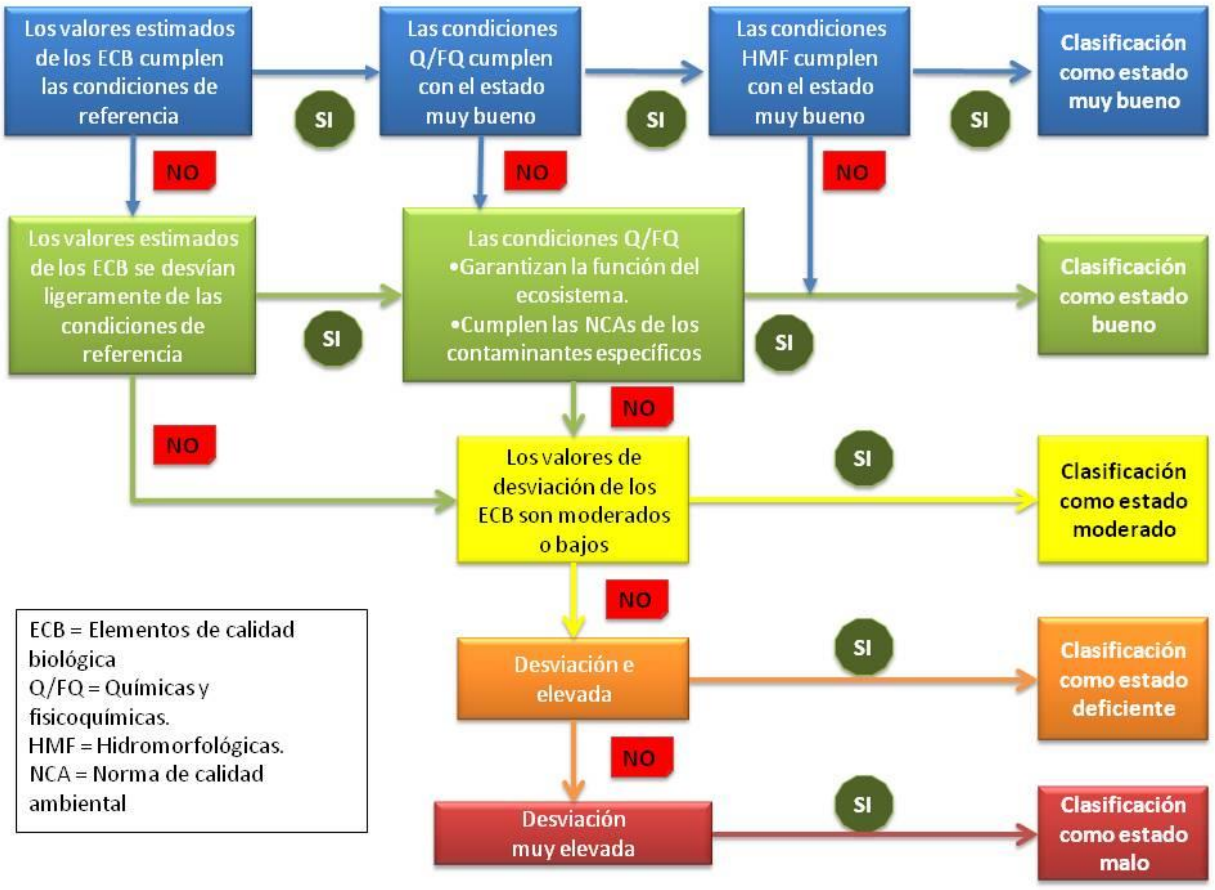


Figura 1. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

De forma individual para cada elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio "*uno fuera, todos fuera*": Se ha denominado a este estado ecológico "restrictivo" como EErest, de tal manera que:

$$EE_{rest} = Mínimo\ (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico del medio marino-costero se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS MARINOS

  - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
  - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
  - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.

- QEs BIOLÓGICOS

  - Calidad BB. Composición y abundancia del bentos marino. Índices BI y AMBI.

8.3. Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero

8.3.1. Resultados del índice AMBI

Los resulados obtenidos por aplicación de los índices que calcula AMBI a los diferentes sitios de muestreo, considerando el bentos marino, se resumen en el **Cuadro 32**.

CUADRO 32. RESULTADOS DEL ÍNDICE AMBI Y ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO

TIPO FONDO	SITIO DE MUESTREO	AMBI	INDICE BIOTICO (BI)	SIGNIFICADO	ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO
SOMERO	R12	0,796	1	No alterado	MUY BUENA
	R15	0,872	1	No alterado	MUY BUENA
	R18	1,586	2	Ligeramente alterado	BUENA
	Caimito Este	0,743	1	No alterado	MUY BUENA
	T1	1,378	2	Ligeramente Alterado	BUENA
	T2	1,113	1	No alterado	MUY BUENA
PROFUNDO	R3	1,304	2	Ligeramente alterado	BUENA
	R33	0,804	1	No alterado	MUY BUENA

Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI propios de sistemas no alterados. Las estaciones R18, T1 y R33 se han clasificado como ligeramente alteradas por causas naturales y/o cambios estructurales asociados con la época del muestreo y estado de las poblaciones, pero con un estado de calidad de tipo BUENO.

Por consiguiente, las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de los trabajos y operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados o alterdos y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

8.3.2. Resultados calidad de aguas y sedimentos

Los resulados obtenidos con el fin de valorar el estado físico-químico del agua y sedimentos en los diferentes sitios de muestreo se resumen en el **Cuadro 33**.

CUADRO 33. RESULTADOS DEL ESTADO DE CALIDAD FISICO-QUÍMICO DEL AGUA Y SEDIMENTOS

TIPO FONDO	SITIO DE MUESTREO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	ESTADO QUÍMICO SEDIMENTO	ESTADO FISICO-QUÍMICO AGUA
SOMERO	R12	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	R15	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	R18	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	Caimito Este	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	T1	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	T2	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
PROFUNDO	R3	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
	R33	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA

Como se puede observar, los parámetros analizados cumplen con los límites legales establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

8.3.3. Valoración final del estado ecológico marino-costero

En el **Cuadro 34** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final para cada sitio de muestreo. En resumen, todos los sitios se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO MUY BUENO A BUENO.

CUADRO 34. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CODIGO SITIO MUESTREO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BB	ESTADO ECOLÓGICO FINAL
R12	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	**MUY BUENO**
R15	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	**MUY BUENO**
R18	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**
Caimito Este	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	**MUY BUENO**
T1	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**
T2	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	**MUY BUENO**
R3	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**
R33	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	**MUY BUENO**

NOTAS. CALIDAD F-Q: calidad físico-química del agua; CALIDAD QA: calidad química del agua; CALIDAD QS: calidad química del sedimento; CALIDAD BB: calidad biológica del bentos marino.

9. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los principales resultados obtenidos en el monitoreo de los ecosisemas marino-costeros realizados durante los días 13 al 18 de octubre de 2020 en la zona de Punta Rincón en el Proyecto Mina de Cobre panamá, se resumen en los siguientes puntos:

- El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros iniciado en el año 2015, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas marinos en el entorno de las operaciones de la mina y el puerto.

- De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan, centrando los trabajos en este monitoreo semestral del año 2020 en los indicadores biológicos (bentos de fondos duros y blandos y peces) y estudios de calidad de agua, sedimentos y biota, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2015 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina y el puerto.

- Desde el punto de vista metodológico, se han seguido los mismos métodos y técnicas de monitoreo a los empleados en los monitoreos de años anteriores (2015, 2016, 2017, 2018 y 2019).

- De esta forma, el diseño de los sitios de monitoreo consideró sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo lejano (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

- Se emplearon los mismos seis (6) sitios de muestreo que en años anteriores (R3 y R33 representativo de zonas profundas lejanas y R12, R15, R18 y Caimito Este de zonas someras cercanas y referencia), además de cuatro (4) sitios: T1 y T2 próximos al muelle de descarga del puerto y E-4 y E-10 más alejados del puerto. Asimismo, se incluyeron los siete (7) sitios en el rompeolas (RO1 al RO7).

- Para el estudio de la calidad del agua se realizaron mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para la realización de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizaron diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados.

- Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos y grupos biológicos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se

tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de muestreo.

- Durante este monitoreo se siguieron con los muestreos en el rompeolas en siete (7) sitios, en los que se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces y siguiendo la misma metodología descrita. Igualmente, se tomaron muestras de agua en dos sitios para análisis químicos de los mismos parámetros que en el monitoreo marino-costero, uno en la parte interna del rompeolas (RO4) o puerto de abrigo y otra en la parte externa del mismo (RO2).

- El conjunto de muestreos lo realizó un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y normas de calidad UNE/EN/ISO 17025. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. En todos los muestreos, se contó con un paramédico y buceador de apoyo, siguiendo los mayores estándares de seguridad y salud en el trabajo y, en especial, los protocolos de protección y seguridad biosanitarios en relación con la pandemia del COVID-19.

- Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos y peces.

  - Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.
  - Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.
  - Diferentes Directivas Comunitarias de la Unión Europea sobre contenido de metales pesados en peces.

- Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, presentando cielos poco nublados (10-50% nubes), ausencia de lluvias y una temperatura ambiente en el rango de 28-30ºC, con mar en calma.

- Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (sobre 6,3-6,8 mg/l y 100% de saturación), salinidades propias de agua de mar (36-37 PSU) y un pH de 8,0-8,8 unidades. La turbidez del agua en esta campaña se ha mantenido baja e inferior a 2 NTU.

- Se destaca que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3ºC de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-

100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

- Todos los metales pesados en agua incluidos en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008 (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad.

- La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios. En los fondos blandos, predominan las arenas medias a gruesas, sin diferencias significativas entre las muestras, y características del litoral caribeño.

- No se aprecia en el sedimento efectos asociados con la operacióndel puerto o de las actividades de la Mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los más profundos.

- En las muestras de sedimentos, no se han encontrado diferencias significativas en el contenido en metales pesados y otros compuestos entre los sitios de muestreo analizados, cumpliendo todas las muestras con el límite de efectos bajos (LEB), por lo que no se han detectado efectos de contaminación en el entorno del puerto y la Mina.

- Las concentraciones de metales pesados en tejidos de pez león -especie objetivo empleada- han sido bajas en todos los sitios de muestreo y se cumple con el límite para plomo (0,30 mg/kg), cadmio (0.25 mg/kg) y mercurio (0.5-1.0 mg/kg).

- Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente o los procesos sedimentarios.

- Los porcentajes de cobertura de los transectos de este monitoreo 2020, son semejantes a los registrados en el monitoreo realizado en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base.

- En este informe se ha realizado un análisis tipo cluster para comprobar si existían similitud entre los sitios muestreados en función de su composición en especies de fondos duros. El resultado indica un grupo claramente diferenciado, formado por las comunidades en los dos sitios profundos (R3 y R33), con una composición similar y en el que predominan el grupo de las esponjas, seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. Entre los corales predominan *Agaricia agaricites, Agaricia undata, Diplora clivosa y Porites asteroides.*

- El segundo grupo lo forman los sitios de fondos duros someros (R12, R15 y R18), que presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales destacan las especies pioneras como *Siderastrea sidérea, Agaricea undata, Agaricia agaricites y Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. Entre las esponjas se pueden destacar *Aplysina cauliformis, Aplysina fulva, Callyspongia vaginalis, Clathrina primordialis, Ircina campan* y *Xestospongia muta*, no estando limitados por el oleaje ni la sedimentación

- Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de muestreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaericana, Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida*.

- En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron ligeramente inferior a otros grupos biológicos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transectos algas como *Halimeda tuna, Amphiroa fragilissima, Chondrophycus papillosus, Dictiota mestrualis, Padina pavonica y Galaxaura obtusata*.

- El grupo de las otras formas de vida y los desconocidos conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidias, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus, Echinometra lucunter, y el Crinoideo Nemaster grandis.*

- El tercer grupo está formado por los los sitios T1 y T2, que presentan un sustrato dominado mayoritariamente (>99%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés. Forman claramente un grupo diferente al resto de sitios de monitoreo, aunque con una cierta similitud con los sitios someros por la composición, también alta en éstos (>75%) de arenas y piedras en el sustrato.

- En el bentos marino de sustratos blandos se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 15447 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 27 Órdenes y 36 Familias. Con 46 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 29 especies, en menor proporción los Poliquetos con 7 y Crustáceos con 3 taxones.

- La distribución espacial del número de especies de los principales taxa permitió evidenciar la dominancia de los moluscos en todas las localidades.

- Del análisis de la abundancia acumulativa por localidades monitoreadas se puede señalar que hay tres grupos de acuerdo al número de individuos cuantificados: con un mayor número se registraron las localidades R-15 con 5581 ind/m^2, R-12 con 2145 ind/m^2 y R-33 con 1989 ind/m^2. Las de menor abundancia fueron E-4 con 286 ind/m^2 y Caimito Este con 299 ind/m^2.

- También para las comunidades de fondos blandos se ha realizado un análisis estadístico tipo cluster, destacando de dicho análisis que no se han registrado comunidades

diferentes en función de la composición del bentos blando. Con excepción del sitio de monitoreo R-15, el resto de sitios presentan una elevada similitud en cuanto a la composición de especies, independiente de la profundidad, tipo de sustrato (muy similar entre ellas) o la composición físico-química del agua y otros elementos oceanográficos (corrientes, marea, etc). El sitio de monitoreo R-15 presenta una mayor densidad de especies (5581 ind/m^2) con respecto al resto de estaciones, con la dominancia de *Ceratium* sp y *Rissoina* sp y en menor medida *Atys* sp.

- La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las operaciones de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales profundidad y localización geográfica no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras. Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

- En la ictiofauna de los fondos duros profundos se censó un total de 34680 individuos/10^3 m^2 entre R3 y R33, pertenecientes a 21 especies de peces, incluidas en 19 géneros y 16 familias. Todos los peces observados fueros óseos (Osteichthyes). La especie más abundante fue con diferencia *Canthigaster rostrate*, que representa el 99% de la población. En mucha menor medida, el resto de especies con porcentajes muy bajos, destacando *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomaei y Anisotremus virginicus*.

- En los fondos someros, la especie más abundantes observada fue *Canthigaster rostrate* con un 99% de dominancia para R12, R15 y R18 y un 60-61% para T1 y T2 relacionado con su bloom poblacional. También se han registrado *Carangoides bartholomaei* y *Acanthurus bahianus* (<1%). La mayor abundancia de tamboril en los sitios R12, R15 y R18 está asociada con la disponibilidad de alimento y refugio, ya que cuentan con hábitats adecuados, en los que aparecen una elevada diversidad de cornisas y pequeñas cuevas en las grandes rocas, fisuras en las plataformas rocosas, fondos de arena y algas, etc., por lo que además de dar cobijo a esta especie, puede albergar una comunidad rica y diversa de especies características de estos fondos en el Caribe. Por su parte, los sitios T1 y T2 no cuentan con refugios y buena disponibilidad de alimento, y tienen una mayor velocidad de la corriente de agua, lo que hace poco atractivo estos hábitats para el desarrollo íctico.

- Las altísimas densidades del pez tamboril observadas en la presente campaña, coinciden con un fuerte bloom de esta especie, fenómeno que se da habitualmente y de forma estacional en estas costas. Seguido a estos blooms, esta especie sufre episodios de mortandad masivos, que también son frecuentes en la costa del Caribe panameño y otras costas próximas. No hay información suficiente sobre estos episodios, ni por qué se produce ésta sobre-población o bloom poblacional, ni por qué se producen las mortandades como estrategia de reclutamiento. Se han apuntado varias causas (calentamiento del agua, falta de alimento, parásitos, etc), pero ninguna es concluyente.

- Cabe señalar, que la comunidad de peces registrada en los fondos someros está asociada con la disponibilidad de alimento y refugio. Cuenta con hábitats adecuados, en los que aparecen una buena diversidad de refugios (cornisas y pequeñas cuevas en las grandes rocas, fisuras en las plataformas rocosas, fondos de arena y algas, etc), por lo que alberga una comunidad rica y diversa de especies características de esta área del caribe.

- La abundancia relativa del pez león en el presente monitoreo fue de 4,5-5,6% para el fondo somero y de 3,1-3,2% para el fondo profundo. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los porcentajes, con pequeñas variaciones. A partir de los datos ya disponibles, se puede adelantar que la especie ha llegado a un tamaño poblacional más o menos definido, aunque pueden variar los efectivos entre estaciones debido a factores externos (alimento, depredación, etc).

- Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá. Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010). Debido a su impacto, se recomienda desarrollar un plan para el control de las poblaciones de esta especie en las áreas cercanas al proyecto de Minera Panamá.

- Durante este monitoreo se han continuado con los trabajos en el rompeolas del puerto en siete sitios de monitoreo, con el objetivo de caracterizar en detalle las comunidades biológicas de fondos duros y peces. El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompe olas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales.

- Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompe olas en su parte más externa que parece se va afianzando con el tiempo –como así se observó en monitoreos anteriores-, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas. En la parte interna, menos expuesta y dentro de la zona de abrigo del rompe olas, esta colonización todavía es incipiente, aunque se aprecian signos de implantación de colonias de corales.

- Tal y como sucede en todo el área marina de Punta Rincón, la especie más abundante observada en la parte externa e interna del rompeolas fue *Canthigaster rostrate* (99%) debido a la coincidencia de los monitoreos con el bloom de esta especie ya comentado con anterioridad. Otras especies presentes han sido *Acanthurus bahianus, Carangoides bartholomei, Kyphosus sectatrix (Linnaeus, 1758), Stegastes variabilis (Castelnau, 1855), Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788) y Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758),* todas con porcentajes muy bajos debido a la fuerte dominancia del tamboril.

- La comunidad de peces en el rompeolas presenta un número significativo de peces y densidades, comparables a las registradas en el estudio marino-costero. Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa de la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transectos expuestos a mar abierto. No obstante, la comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de alto valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

- Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompe olas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.

- Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (10-25 ind/m^3 para huevos y 21-32 ind/m^3 para larvas), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m^3 para huevos y de 30-50 ind/m^3 para larvas en el Caribe.

- Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, con porcentajes que llegan al 20-24%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Estas especies no tienen valor económico ni pesquero.

- En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)[7] en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m^3 y 9,08 larvas/m^3 succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta. En este trabajo se concluyó que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto, resultan ser insignificantes, siendo aún menores en el caso de la toma en Punta Rincón debido a que el caudal de toma y la concentración de larvas y huevos también son menores.

7 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.

- Se ha procedido al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA para valorar cómo cambian los resultados de los diferentes elementos ambientales considerados (bentos marino y peces). De esta forma, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2015.

- La tendencia de los indicadores biológicos de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y del presente 2020 comparados con los de la línea base del año 2015 indican variaciones poco significativas. En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto a la línea base, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

- Para complementar el análisis de tendencias de los indicadores ambientales establecidos en el EEA, se ha evaluado el estado ecológico del medio marino en el entorno del Puerto. Para ello, se han empleado los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

- Las comunidades de los bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS a BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI que son propios de sistemas ligeramente alterados por causas naturales y/o cambios estructurales asociados con la época del muestreo y estado de las poblaciones. Las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

- Por su parte, los parámetros físico-químicos analizados en el agua, sedimento y biota cumplen con los límites legales en Panamá o los establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

- En resumen, todos los sitios de monitoreo analizados se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO de categoría BUENO a MUY BUENO, no apreciándose efectos ambientales de tipo negativo debido a la operación de la mina y el puerto.

10. BIBLIOGRAFÍA

PECES

ALLEN, G.R. 1985. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish Synopsis 6(125): 1-208.

ANAM. 2008. RESOLUCIÓN No. AG-0051-2008 “Por la cual se reglamenta a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción, y se dictan otras disposiciones”. Gaceta oficial No. 26013 del 7 de abril de 2008.

BOHLKE, J.E. & C.G. CHAPLIN. (2 ed.). 1993. Fishes of the Bahamas and Adjacent Tropical Watersn. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, University of Texas Press, USA, 771 pp.

BROCK RE. 1982. A critique of the visual *census* method for assessing coral reef fish populations. Bulletin of Marine Science 32(1): 269-276.

BUSSING, W.A. 1987. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 271 p.

BUSSING, W.A. 1998 (2 ed.) Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. vol. 46, supl. 2: 1-468.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002a. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO pp 601-1374.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002b. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO p 1375-2127.

CERVIGON, F. 1966. Los Peces Marinos de Venezuela. Tomo I y II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas. 1-951 pp.

CERVIGON, F. & W. FISCHER. 1979. INFOPESCA: Catálogo de Especies Marinas de Interés Económico Actual o Potencial para América Latina. Parte I- Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Roma, 372 pp.

CERVIGON, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA & B. RODRIGUEZ. 1992. Fichas FAO de identificación de las especies para los fines de la pesca. Guía de Campo de las Especies Comerciales Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur América. Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma, FAO, 1992. 513 pp.

CHRISTOPHER R.B., & OLDEN, J.D. 2011. Multi-scale habitat occupancy of invasive lionfish (Pterois volitans) in coral reef environments of Roatan, Honduras. Aquatic Invasions 6 (3): 347–353.

COLLETTE, B.B. & C. E. NAUEN. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species know to date. FAO Dish Synopsis 2(125): 1-137.

FISCHER, W. (ed.). 1978. FAO Identification Sheets for Fishery Purposes: Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, vol. 1-7: pag. var.

FROESE, R. & D. PAULY. (ed.). 2013. FishBase, World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, versión (04/2013).

HEEMSTRA, P.C. & J.E. RANDALL. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis 16(125): 1-382.

HUMANN, P. 1997. (3ra. ed.). Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. Paramount Miller Graphics Inc., Florida, 396 pp. + app.

JÁCOME, G. 2001. La pesca y el deterioro de los arrecifes en el Caribe y Panamá. Pp. 200-206. En: S. Heckadon-Moreno (Editor). Panamá: Puente Biológico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá, 233 p.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1923. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (215): 1-330.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1925. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (226): 331-708.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1928. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (249): 709-1045.

PERRY, J.A. & S.D. PERRY. 1974. Los Peces Comunes de la Costa Atlántica de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Departamento de Biología, Serie Ciencias naturales No. 7, 225 p.

PLAN DE ACCIÓN DE BIODIVERSIDAD (PAB). Minera Panamá. S.A. Versión 2.0. Junio de 2011. 264 pp.

RANDALL, J.E. 1968. Caribbean Reef Fishes. T.F.H. Publications Inc., Neptuno City, N.J., 318 pp.

SCHOfiELD, P. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (Pterois volitans [Linnaeus 1758] and P. miles [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. Aquat Invasions 4:473–479.

FONDOS DUROS

Calder, D.R. and L. Kirkendale. 2005. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from shallow-water environments along the Caribbean coast of Panama. Caribbean Journal of Science 41: 476-491.

Collin, R., M. C. Diaz., J. Norenburg., R.M. Rocha, J.A. Sanchez., A. Schulze, M. Schwartz and A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panama. Caribbean Journal of Science. Vol. 41(3): 367-638. Gingsbur R. 1999. http://www.agrra.org/updates/metodo.html.

Humann, P. and N. Delpachach. 2006. Reef Fish Identification – Florida, Caribbean, Bahamas. 3nd Edition. New World Publications, Inc. USA. 480 pp. STRI Bocas Data Base, 2012. (www.stri.org).

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the world. Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.

Zea, Sven. 1998. Estado actual del conocimiento en Sistemática de Esponjas Marinas (Poriferas) del Caribe Colombiano. Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales N° 33: 45-59.

BENTOS MARINO

Abbott, R. T. 1954. American Shells. D. Van Nostrand company, Inc. 541 pp.

Fauchald, K. 1984. Preface. En Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northen Gulf of Mexico. Eds. J. M. Uebelecker & P. G. Johnson. Mobile: Barry A. Vittor and Associates, págs. iv-v.

Ferrero-Vicente, L.M. et al., 2011. Soft–bottom sipunculans from San Pedro del Pinatar (Western Mediterranean): influence of anthropogenic impacts and sediment characteristics on their distribution. Animal Biodiversity and Conservation. 34, 101-111.

Garcés, H. 1994. El Bentos Marino. Scientia Edición Especial. 111-117.

Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press. London. 185 pp.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford, California. 1000 pp.

Levinton, J. 1982. Marien Ecology. Printice Hall Inc. New York. U.S.A. 526 pp.

Liñeros, I. 1997. Poliquetos Bénticos de Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná. Pp. 148.

Morales- N. A. G., D. E. Alston & A. Cabarcas. 2003. Preliminary effects of open-ocean cages on benthic maroinvertebrate populations. April 3, 2003. VIII Sigma Xi Poster Day.

Rodríguez, G. 1980. Los Crustáceos del Caribe Venezolano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas. 494 pp.

SALAZAR-VALLEJO, S.I., J.A. DE LEÓN-GONZÁLEZ Y H. SALAICES-POLANCO. 1989 (1988). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 212 p.

Villalaz, J., C., A. Vega., J. Ávila & J. A. Gomes. 2002. Análisis Temporal de Macroinvertebrados Bentónicos en Playa el Agallito, Chitré. Tecnociencia. Vol.4. 2:111-126.

Warwick, R. & M. Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: Further evaluation of the species abundance- biomass method. Mar. Biol.., 95: 193-200.

ANEXO 1

INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO (AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA)

PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
Ancón. Avda. Morgan, Dúplex 301-A
Ciudad de Panamá. República de Panamá
www.pfr-environmental.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO Nº LE-058
ACREDITADO EN LA NORMA DGNTI-COPANIT-ISO/IEC 17025:2006

INFORME DE ENSAYO Nº 01281220

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: EES INTERNATIONAL, SA	**PERSONA CONTACTO:** FERNANDO MARIÑO
DIRECCIÓN: Manuel María Icaza, PH Cor Building Ciudad de Panamá, Panamá	**CORREO CONTACTO:** consultoria@ees-international,com

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRAS: R3, R33, R12, R15, R18, Caimito este, T1, T2, E-4 y E-10	**FECHA RECEPCIÓN MUESTRA:** 20/10/20
TOMADA POR: EES INTERNATIONAL, SA	**CODIGO FICHA CAMPO Y CC:** EES 102017
FECHA INICIO ANALISIS: 20/10/20	**FECHA FIN ANÁLISIS:** 28/12/20
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua marina tomada en Punta Rincón, Mar Caribe	

PARÁMETRO	UNID.	CODIGO SITIOS DE MUESTREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
TSD	g/L	31,20	31,20	31,40	31,45	31,35	31,43	31,28	31,41	31,25	31,30
TSS	mg/L	134	145	230	150	140	133	138	130	135	125
DBO_5	mg/L	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
COD	mg/L	1,0	1,2	1,3	1,0	0,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,4
Nitrato NO_3	mg/L	0,10	0,09	0,12	0,10	0,08	0,10	0,15	0,07	0,08	0,07
Nitrito NO_2	mg/L	0,010	0,010	0,010	0,010	0,015	0,010	0,015	0,010	0,010	0,010
Amonio NH_4	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
N total	mg/L	1,2	1,1	1,3	1,0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,1	1,2
Fosfatos	mg/L	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Sulfatos SO_4	mg/L	3330	3230	3200	2890	3600	3150	3290	3450	3400	3110
Cloruros Cl	mg/L	11.300	12.100	12.140	11.300	11.600	11.230	11.650	11.600	11.500	11.340
Magnesio	mg/L	1400	1250	1300	1100	1400	1340	1390	1150	1200	1050
Calcio	mg/L	340	310	320	340	330	300	370	410	365	270
Potasio	mg/L	490	610	520	522	535	560	570	450	520	430
Sodio	mg/L	9340	9550	9400	9750	9560	8900	8750	9510	9700	9230
Fluoruro	mg/L	1,00	1,10	1,00	1,00	1,00	1,20	1,10	1,00	1,10	1,00
Aceites y G	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Aluminio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.

PARÁMETRO	UNID.	CODIGO SITIOS DE MUESTREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
Antimonio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Antomonio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bario dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bario tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Berilio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Berilio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Hierro dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Hierro tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manganeso dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manganeso tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plata dis	mg/L	0,340	0,356	0,388	0,420	0,320	0,345	0,420	0,356	0,560	0,210

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.

PARÁMETRO	UNID.	CODIGO SITIOS DE MUESTREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
Plata tot	mg/L	0,456	0,435	0,470	0,510	0,478	1,210	1,34	0,54	0,35	0,49
Plomo dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plomo tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio dis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cianuro	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Fecha de emisión del Informe de Ensayo: 29 de diciembre 2020

Responsable Informe y PCC: Dr Pedro Aranzadi

FIRMA DIGITAL

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.

PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
Ancón. Avda. Morgan, Dúplex 301-A
Ciudad de Panamá. República de Panamá
www.pfr-environmental.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO Nº LE-058
ACREDITADO EN LA NORMA DGNTI-COPANIT-ISO/IEC 17025:2006

INFORME DE ENSAYO Nº 02281220

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: EES INTERNATIONAL, SA	**PERSONA CONTACTO:** FERNANDO MARIÑO
DIRECCIÓN: Manuel María Icaza, PH Cor Building Ciudad de Panamá, Panamá	**CORREO CONTACTO:** consultoria@ees-international,com

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRAS: R3, R33, R12, R15, R18, Caimito este, T1, T2, E-4 y E-10	**FECHA RECEPCIÓN MUESTRA:** 20/10/20
TOMADA POR: EES INTERNATIONAL, SA	**CODIGO FICHA CAMPO Y CC:** EES 102017
FECHA INICIO ANALISIS: 20/10/20	**FECHA FIN ANÁLISIS:** 28/12/20
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: sedimentos marinos tomados en Punta Rincón, Mar Caribe	

PARÁMETRO	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
COT	mg/kg	1,8	1,6	2,2	1,7	2,0	1,8	2,0	1,7	1,8	1,9
Aceites y grasas	mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
HIT	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/kg	7400	7200	7600	7200	8100	7200	6950	7140	7250	7160
Antimonio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/kg	30,0	20,0	15,1	10,2	14,2	12,1	10,4	20,1	18,3	10,1
Bario tot	mg/kg	10,3	10,5	15,5	11,1	12,4	11,6	10,6	10,2	11,3	10,2
Berilio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/kg	0,9	1,1	1,2	1,0	0,9	2,7	1,1	1,8	1,0	1,6
Hierro tot	mg/kg	21.400	21.100	22.150	19.300	20.400	21.560	21.240	21.360	20.480	19.600

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en un laboratorio subcontratado y disponible en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 2 páginas.

PARÁMETRO	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO									
		R3	R33	Caimito Este	R12	R15	R18	T1	T2	E-4	E-10
Manganeso tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níquel tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plata tot	mg/kg	2,3	2,1	2,3	2,1	2,2	2,1	2,3	2,0	1,5	2,5
Plomo tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/kg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fecha de emisión del Informe de Ensayo: 28 de diciembre de 2020

Responsable Informe y PCC: Dr Pedro Aranzadi

FIRMA DIGITAL

NOTAS: Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR, Análisis en sedimentos referido a materia seca (s,m,s,)

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en un laboratorio subcontratado y disponible en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 2 páginas.

PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
Ancón. Avda. Morgan, Dúplex 301-A
Ciudad de Panamá. República de Panamá
www.pfr-environmental.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO Nº LE-058
ACREDITADO EN LA NORMA DGNTI-COPANIT-ISO/IEC 17025:2006

INFORME DE ENSAYO Nº 03281220

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: EES INTERNATIONAL, SA	**PERSONA CONTACTO:** FERNANDO MARIÑO
DIRECCIÓN: Manuel María Icaza, PH Cor Building Ciudad de Panamá, Panamá	**CORREO CONTACTO:** consultoria@ees-international,com

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRAS: R3, R33, R12, R15, R18	**FECHA RECEPCIÓN MUESTRA:** 20/10/20
TOMADA POR: EES INTERNATIONAL, SA	**CODIGO FICHA CAMPO Y CC:** EES 102017
FECHA INICIO ANALISIS: 20/10/20	**FECHA FIN ANÁLISIS:** 29/12/20
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: biota (tejido de pez león) tomados en Punta Rincón, Mar Caribe	

PARÁMETRO	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO				
		R3	R33	R12	R15	R18
Aluminio tot	mg/kg	66	55	40	77	81
Arsénico tot	mg/kg	1,5	1,7	1,8	1,2	1,5
Bario tot	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Berilio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cinc tot	mg/kg	20,1	25,8	20,8	22,7	15,9
Cobalto tot	mg/kg	0,20	0,21	0,40	0,10	0,13
Cobre tot	mg/kg	2,8	2,4	2,9	2,6	1,9
Cromo tot	mg/kg	0,10	0,20	0,24	0,18	0,25
Hierro tot	mg/kg	42,5	56,7	60,1	50,6	67,8
Manganeso tot	mg/kg	160,2	150,3	147,1	165,2	140,6
Mercurio tot	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Molibdeno tot	mg/kg	0,20	0,34	0,31	0,30	0,31
Níquel tot	mg/kg	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
Plomo tot	mg/kg	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
Selenio tot	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Vanadio tot	mg/kg	0,14	0,22	0,20	0,10	0,20

Fecha de emisión del Informe de Ensayo: 10 de enero de 2020

Responsable Informe y PCC: Dr Pedro Aranzadi **FIRMA DIGITAL**

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en laboratorio subcontratado y disponible en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página. Metodología aceptada por el cliente y descrita en el Informe, cumpliendo los TdR. Análisis en tejido de pez león referido a materia seca (s.m.s.)

PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
Ancón. Avda. Morgan, Dúplex 301-A
Ciudad de Panamá. República de Panamá
www.pfr-environmental.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO Nº LE-058
ACREDITADO EN LA NORMA DGNTI-COPANIT-ISO/IEC 17025:2006

INFORME DE ENSAYO Nº 04281220

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: EES INTERNATIONAL, SA	**PERSONA CONTACTO:** FERNANDO MARIÑO
DIRECCIÓN: Manuel María Icaza, PH Cor Building Ciudad de Panamá, Panamá	**CORREO CONTACTO:** consultoria@ees-international,com

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRAS: R04 y R02	**FECHA RECEPCIÓN MUESTRA:** 20/10/20
TOMADA POR: EES INTERNATIONAL, SA	**CODIGO FICHA CAMPO Y CC:** EES 102017
FECHA INICIO ANALISIS: 20/10/20	**FECHA FIN ANÁLISIS:** 28/12/20
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua marina tomada en el interior y exterior del rompeolas en el puerto de Punta Rincón, Mar Caribe	

PARÁMETRO	UNIDAD	R04 (interior rompeolas)	R02 (exterior rompeolas)
TDS	mg/L	30.400,00	30.750,0
TSs	mg/L	130	140
DBO	mg/L	<3	<3
COD	mg/L	1,1	1,0
Nitrato NO3	mg/L	0,30	0,32
Nitrito NO2	mg/L	0,010	0,010
Amonio NH4	mg/L	<0,01	<0,01
N total	mg/L	0,1	0,2
Fosfatos PO4	mg/L	<0,4	<0,4
Sulfatos SO4	mg/L	3600,00	3400,00
Cloruros Cl	mg/L	11.300,0	11.250,0
Magnesio	mg/L	1200	1300
Calcio	mg/L	410	360
Potasio	mg/L	510	590
Sodio	mg/L	9460	9600
Fluoruro	mg/L	1,10	1,15
Aceites y G	mg/L	<5	<5
Aluminio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Aluminio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Antimonio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Antomonio tot	mg/L	<0,001	<0,001

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en laboratorio subcontratado y en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.

PARÁMETRO	UNIDAD	R04 (interior rompeolas)	R02 (exterior rompeolas)
Arsénico dis	mg/L	<0,001	<0,001
Arsénico tot	mg/L	<0,001	<0,001
Bario dis	mg/L	<0,001	<0,001
Bario tot	mg/L	<0,001	<0,001
Berilio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Berilio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Boro dis	mg/L	<0,001	<0,001
Boro tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cadmio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cadmio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cinc dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cinc tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo dis	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo tot	mg/L	<0,001	<0,001
Hierro dis	mg/L	<0,001	<0,001
Hierro tot	mg/L	<0,001	<0,001
Manganeso dis	mg/L	<0,001	<0,001
Manganeso tot	mg/L	<0,001	<0,001
Mercurio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Mercurio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Molibdeno dis	mg/L	<0,001	<0,001
Molibdeno tot	mg/L	<0,001	<0,001
Níquel dis	mg/L	<0,001	<0,001
Níquel tot	mg/L	<0,001	<0,001
Plata dis	mg/L	<0,001	<0,001
Plata tot	mg/L	<0,001	<0,001
Plomo dis	mg/L	<0,001	<0,001
Plomo tot	mg/L	<0,001	<0,001

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en laboratorio subcontratado y en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.

PARÁMETRO	UNIDAD	R04 (interior rompeolas)	R02 (exterior rompeolas)
Selenio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Selenio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Vanadio dis	mg/L	<0,001	<0,001
Vanadio tot	mg/L	<0,001	<0,001
Cianuro	mg/L	<0,10	<0,10

Fecha de emisión del Informe de Ensayo: 10 de enero de 2020

Responsable Informe y PCC: Dr Pedro Aranzadi

FIRMA DIGITAL

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del cliente. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados están acreditados conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en laboratorio subcontratado y en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 3 páginas Metodología aceptada por el cliente, cumpliendo los TdR.